

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Modelado y simulación de métodos de control de la
producción

Autor: Tamara Anais Orellana Mier

Tutor: Antonio Plácido Moreno Beltrán

**Dpto. Organización Industrial y Gestión de
Empresas
Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Modelado y simulación de métodos de control de la producción

Autor:

Tamara Anais Orellana Mier

Tutor:

Antonio Plácido Moreno Beltrán

Profesor Contratado Doctor

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado:
Modelado y simulación de métodos de control de la producción

Autor: Tamara Anaïs Orellana Mier
Tutor: Antonio Plácido Moreno Beltrán

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

Agradecer a mi tutor, al Prof. Dr. D. Antonio Plácido Moreno Beltrán, por su tiempo invertido y esfuerzo en guiarme en este proyecto.

Gracias también a mis familiares, por su apoyo en los años de vida universitaria.

Finalmente, dar las gracias a aquellos profesores por los conocimientos aportados y compañeros con los que he compartido estos años.

Sevilla, 2019

Resumen

En este proyecto se pretende llevar a cabo una investigación de los sistemas de producción tipo pull, como son Kanban y ConWIP, detallando como funcionan cada uno de ellos, sus características y finalmente haciendo una comparación cuantitativa entre ellos.

Para hacer este cotejo, se procederá a simular en el software Arena, un sistema Job Shop, que constará de 4 estaciones de trabajo. Se explicará los distintos módulos usados para la realización de los modelos y finalmente se recopilará los datos obtenidos para los dos escenarios, Kanban y ConWIP.

Abstract

This project intends to carry out an investigation of pull-type production systems, such as Kanban and ConWIP, detailing how each of them works, their characteristics and finally making a quantitative comparison between them.

To do this comparison, a Job Shop system will be simulated in the Arena software, which will consist of 4 workstations. The different modules used for the realization of the models will be explained and finally the data obtained for the two scenarios, Kanban and ConWIP, will be collected.

Índice

Agradecimientos	7
Resumen	9
Abstract	11
Índice	13
Índice de Tablas	15
Índice de Figuras	17
1 Introducción	21
1.1 Objetivos	21
1.2 Desglose de objetivos por capítulos	21
1.3 Estructura del trabajo	21
2 Sistemas de control de la producción basados en tarjetas	24
2.1 Lean Manufacturing	24
2.2. Kanban	27
2.3. ConWIP	27
3 Introducción a Arena	28
3.1. Panel de procesos básicos	28
3.1.1. Módulos de diagramas de flujo	28
3.1.2. Módulos de datos	28
3.2. Panel de procesos avanzados	28
3.2.1 Módulos de diagramas de flujo	28
4 Modelos	43
4.1. Modelado en entorno Kanban	
4.1.1 FIFO	
4.1.2 Fecha de entrega	
4.1.3 Lead time	
4.2. Modelado en entorno ConWIP	
4.2.1 FIFO	
4.2.2 Fecha de entrega	
4.2.3 Lead time	
5. Resultados	

6. Conclusiones

Bibliografía

Anexos

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1 Resultados de la simulación inicial	58
Tabla 5.2 Resultados con variación de tiempo de llegada	59
Tabla 5.3 Resultados con variación de tiempos de procesos	61
Tabla 5.4 Resultados con variación de fechas de entrega	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Tarjeta Kanban de transporte	25
Figura 2.2. Tarjeta Kanban de producción	25
Figura 2.3. Sistema de control de la producción ConWIP	27
Figura 3.1 Módulo Create	28
Figura 3.2. Módulo Dispose	29
Figura 3.3. Módulo Process	30
Figura 3.4. Resource en módulo Process	31
Figura 3.5. Módulo Decide	31
Figura 3.6. Variable en módulo Decide	32
Figura 3.7. Condiciones en módulo Decide; N-way by condiction.	33
Figura 3.7 Módulo Assign	33
Figura 3.8 Módulo Record	34
Figura 3.9. Módulo de datos Entity	35
Figura 3.10. Módulo de datos Queue	35
Figura 3.11 Módulo de datos Resource	36
Figura 3.12 Módulo de datos Variable	36
Figura 3.13 Módulo Delay	37
Figura 3.14 Módulo Hold	37
Figura 3.15 Módulo Release	38
Figura 3.16 Resource en módulo Release	39
Figura 3.17 Módulo Signal	39
Figura 3.18 Módulo Advanced Set	40
Figura 3.19 Módulo Route	41

Figura 3.20 Módulo Station	42
Figura 4.1 Llegada de las piezas	43
Figura 4.2 Create de llegadas de piezas	44
Figura 4.3 Estaciones de trabajo Figura	44
4.4 Módulo Process y Hold	44
Figura 4.5 Asignar tarjeta Kanban	45
Figura 4.6 Devolver tarjeta Kanban	45
Figura 4.7 Estación de trabajo 4	46
Figura 4.8 Salida de la pieza	46
Figura 4.9 Demonio para WIP en proceso	46
Figura 4.10 Llegada de piezas Kanban, ordenadas según fecha de entrega	46
Figura 4.11 Assign de tiempos	47
Figura 4.12 Módulo de salida de piezas procesadas	47
Figura 4.13 Assign para el tiempo de salida	48
Figura 4.14 Assign, Lead time	48
Figura 4.15 Condición de entrega a tiempo	49
Figura 4.16 Record para piezas que cumplen con la fecha de entrega	49
Figura 4.17 Módulo de llegada de piezas	50
Figura 4.18 Pull de órdenes	50
Figura 4.19 Decide WIP máximo	50
Figura 4.20 Assign tiempo de llegada y WIP	51
Figura 4.21 Estaciones de trabajo en ConWIP	51
Figura 4.22 Process	52

Figura 4.23 Demonio para el WIP promedio	52
Figura 4.24 Salida de las piezas del sistema	53
Figura 4.25 Assign- Fecha de entrega y tiempos de procesos	53
Figura 4.26 Módulo Process	54
Figura 4.27 Llegada de piezas	54
Figura 4.28 Módulo Decide	55
Figura 4.29 Módulo Record	55

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

En este capítulo, se establece el alcance del proyecto y se proporciona una introducción al formato y contenido de la estructura del documento.

El objetivo que se persigue con este trabajo es el de simular mediante dos sistemas de control de la producción de tipo tarjeta, un entorno tipo taller, mediante el software Arena. Estos sistemas serán Kanban y ConWIP. Mediante la simulación de estos, se recopilarán datos de interés que posteriormente serán analizados.

1.2 Desglose de objetivos por capítulos

Capítulo 2:

Introducción histórica de sistemas de control de la producción para entornos tipo taller.

- Lean Manufacturing.
- Kanban.
- ConWIP.

Capítulo 3:

Herramienta de simulación Arena Rockwell.

Capítulo 4:

Modelado según Kanban y ConWIP.

Capítulo 5:

Análisis de los resultados.

Capítulo 6:

Conclusiones.

1.3. Estructura del trabajo

El trabajo está dividido en 6 capítulos y un anexo.

El primer capítulo es introductorio. En él, se explica brevemente el objetivo del proyecto, los capítulos de los que se compone y una estructura en la que resume capítulo a capítulo el tema del que trata.

El segundo capítulo, se trata de una introducción a los sistemas pull. En él se explica la aparición de JIT, Lean Manufacturing y por último, la explicación teórica de los sistemas que van a ser tratados en este proyecto; Kanban y ConWIP.

El tercer capítulo, es para la introducción del software utilizado para la simulación. En este episodio, se explican los módulos utilizados en la simulación.

El cuarto capítulo corresponde con los modelos utilizados en la simulación. Habrá 3 modelos diferentes para cada sistema de control de la producción.

El quinto capítulo, se trata de los resultados obtenidos en los diferentes escenarios posibles de simulación.

En el último capítulo, se recogen las conclusiones obtenidas al analizar los diferentes resultados. Finalmente, se expone la bibliografía y un anexo, donde están recogidos todos los modelos al completo.

2. SISTEMAS DE CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN TARJETAS

Durante el periodo de los últimos 50 años, la disciplina más importante para la gestión de la producción es justo a tiempo (JIT), originario en Japón. Para comprenderlo mejor, nos remontamos históricamente a comienzos del siglo XX, donde Henry Ford, fundador de Ford Motor Company, adapta conceptos de JIT en su empresa para sus líneas de montaje de automóviles, herramienta que utiliza la filosofía de la eliminación de desperdicios. Aunque hablemos de que se lleva usando desde la década de 1930, no es hasta 1970 cuando se perfecciona y comienza el auge de la mano de Taiichi Ohno, director de empresa automovilística Toyota.

Se pone de manifiesto para resolución de problemas como el ahorro del espacio, falta de dinero y la consecuencia de reducir los costes y para los sistemas de producción masiva.

Este método se basa en el suministro a la producción dónde y cuándo esta lo necesita, tratando de reducir desperdicios y variabilidad. Se entiende desperdicio como cualquier parte que pertenezca al sistema de producción como pueden ser el inventario, las demoras, el transporte y almacenamiento, espacios y mano de obra, elementos que no añaden valor. La variabilidad es toda desviación producida en el sistema que conlleva a la no obtención de productos cuando se precisa, que estos no seas perfectos y que no se produzcan a tiempo.

Hay 4 puntos por los que se puede producir la variabilidad, se detallan a continuación (Heizer y Render, 2008):

- Los empleados, las máquinas y los proveedores producen unidades que no cumplen las normas, llegan tarde o no llegan en la cantidad adecuada.
- Los planos de ingeniería o las especificaciones son inexactos.
- El personal de producción intenta producir antes de que los planos o las especificaciones estén terminadas.
- No se conocen las demandas de los clientes.

La variabilidad desaparece con la utilización de Justo a Tiempo (JIT). La eliminación de la variabilidad nos permite mover los materiales adecuados justo a tiempo de su utilización. El JIT reduce el material de la cadena de suministros y nos ayuda a concentrarnos en añadir valor en cada paso. Las principales aportaciones del método se muestran a continuación. (Heizer y Render, 2008).

- La reducción de las colas y de las esperas acelera la producción, libera activos y consigue pedidos.
- La mejora de la calidad reduce los desperdicios y consigue pedidos.
- La reducción de los costes aumenta el margen o reduce el precio de venta.
- La reducción de la variabilidad en los puestos de trabajo reduce los desperdicios y consigue pedidos.
- La reducción de la repetición de los trabajos reduce los desperdicios y consigue pedidos.

Los objetivos principales de la filosofía Justo a Tiempo son 4 (Heizer y Render, 2008):

1. Supresión de las actividades innecesarias.
2. Supresión de inventario en la planta de producción. Se entrega el material en el lugar y momento en que se necesita. Solo hace falta inventario de materias primas si hay alguna razón para creer que los proveedores no son fiables.
3. Supresión del inventario en tránsito. Los departamentos de compras modernos ahora tratan de reducir el inventario en tránsito animando a los proveedores, y a los que aspiran a serlo, a establecerse cerca de sus instalaciones y realizar envíos pequeños y frecuentes. Cuanto menor sea el flujo del material, menos inventario habrá.
4. Eliminación de proveedores poco eficientes. Cuando una empresa reduce el número de proveedores, aumenta sus compromisos a largo plazo. Para conseguir mejor calidad y fiabilidad, proveedores y compradores deben entenderse y confiar el uno en el otro. Para conseguir que las entregas de material se produzcan solo cuando sean necesarias y en las cantidades necesarias, hace falta además una calidad perfecta, también conocida como defectos cero. Tanto el proveedor como el sistema de entrega tienen que ser excelentes.

2.1. Lean Manufacturing

La producción ajustada se puede entender como el resultado final de una dirección de operaciones bien realizada. La diferencia que mantiene con respecto a JIT, es que esta primera, se enfoca hacia el cliente, mientras que JIT lo hace con un enfoque interior.

Entender lo que quiere el cliente y asegurar el input del cliente y su feedback constituyen los puntos de partida de Lean Manufacturing. Significa identificar lo que tiene valor para el consumidor, analizando todas las actividades necesarias para fabricar el product y optimizar a continuación todo el proceso desde la perspectiva del consumidor. El directive descubre qué es lo que crea valor para el consumidor y qué no (Heizer y Render, 2008).

Los principios que sustentan esta filosofía son:

1. El trabajo deberá estar completamente especificado en cuanto a contenidos, secuencia, plazos y resultados.
2. Todas las relaciones cliente-proveedor, tanto internas como externas, deben ser directas y especificar personas, métodos, plazos y cantidad de bienes o servicios suministrados.
3. Los flujos de productos y servicios deben ser sencillos y directos: los bienes y servicios se dirigen a una persona o máquina específica.
4. Cualquier mejora en el Sistema debe hacerse siguiendo el “método científico”, en el nivel más bajo posible de organización.

2.2. Sistema Kanban

Kanban es una herramienta que se utiliza para conseguir la producción “Just in time”. Su significado en japonés es tarjeta. En su esfuerzo por reducir el inventario, utilizaban sistemas que tiran del inventario a lo largo de la producción cuando se producía una señal. La tarjeta representa la autorización para que se produzca el siguiente contenedor de material. Normalmente existe una señal kanban para cada contenedor de artículos a elaborar, por lo tanto una secuencia de kanbans “tira” del material a través de la planta. (Heizer y Render, 2008).

Existen dos tipos de tarjetas Kanban, las de transporte y las de producción. La tarjeta de transporte, es la encargada de determinar el tipo y la cantidad que hay que retirar del proceso anterior, mientras que la de producción establece el tipo y cantidad a fabricar.

Almacén Estante nº 5E215	Código Artículo A2-15	Proceso anterior FORJA B-2
Artículo nº 35670507		Proceso siguiente MECANIZAC. M-6
Id Nombre PIÑÓN DE TRANSMISIÓN		
Tipo de coche SX50BC		
Capac. Caja 20	Tipo Caja B	Salida nº 418

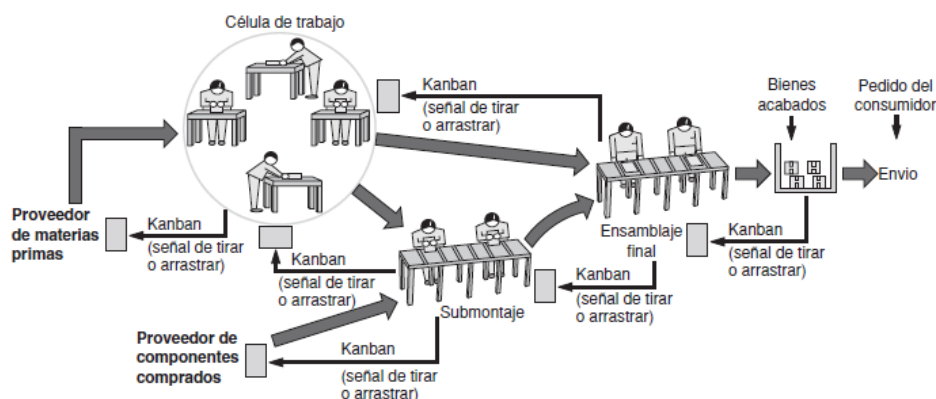
Figura 2.1 Tarjeta Kanban de transporte

Almacén Estante nº F26-18	Código Artículo A5-34	Proceso MECANIZAC. SB-8
Artículo nº 56790-321		
Id Nombre EJE DE CIGÜENAL		
Tipo de coche SX50BC-150		

Figura 2.2 Tarjeta Kanban de producción

Aunque se esté deficiendo como una tarjeta, se ha ido modificando la forma de aplicarlo y aunque se sigue llamando kanban no utilizan tarjetas. Un ejemplo de ello es utilizar como señal una bandera para avisar de que es el momento del siguiente contenedor ó la existencia de un hueco en el suelo del taller se toma como indicio de que falta el siguiente contenedor. (Heizer y Render, 2008).

En la siguiente ilustración se muestra el funcionamiento de Kanban. Como se puede observar, se tira de las unidades a medida que se van necesitando a través de la sucesivas fases de producción.



Para conseguir el propósito de la producción kanban “Just in time” deben cumplirse las siguientes normas (Velasco y Campins, 2013):

1. El proceso posterior recogerá del anterior los productos necesarios en las cantidades precisas y en el momento oportuno.
2. El proceso precedente deberá fabricar sus productos en las cantidades recogidas por el proceso siguiente.
3. Los productos defectuosos nunca deben pasar al proceso siguiente.
4. El número de kanban debe minimizarse.
5. El kanban habrá de utilizarse para lograr la adaptación a pequeñas fluctuaciones de la demanda. (Ajuste de la producción mediante kanban).

Al establecer un sistema de control kanban es necesario saber cuántas tarjetas o contenedores van a ser necesarios. Las tarjetas representan la cantidad de contenedores de material que fluye hacia adelante y hacia atrás. Cada uno de los contenedores representa la cantidad mínima a suministrar. Por lo tanto, el número de contenedores controla directamente la cantidad de inventario de trabajo en el proceso.

El cálculo preciso del tiempo de entrega necesario para fabricar un contenedor de piezas es la clave para determinar el número de contenedores. Este tiempo de entrega esta en función del tiempo de procesamiento del contenedor, cualquier tiempo de espera durante el proceso de producción y el tiempo requerido para transportar el material al usuario. Son necesarios suficientes kanbanes para cubrir la demanda esperada durante este tiempo además de la cantidad adicional de existencias de seguridad. El número de grupos de tarjetas kanban es: (Chaise, 2009)

$$k = \frac{\text{Demanda esperada durante el tiempo} + \text{Existencia de seguridad}}{\text{Tamaño del contenedor}} = \frac{DL + (1+S)}{C}$$

donde

k= Número de grupos de tarjetas kanban.

D= Número promedio de unidades demandadas por el periodo (el tiempo de entrega y la demanda se deben expresar en las mismas unidades de tiempo).

L= Tiempo de entrega de un pedido (expresados en las mismas unidades que la demanda).

S= Existencias de seguridad expresadas como un porcentaje de la demanda durante el tiempo de entrega (puede ser con base en un nivel de servicio y la varianza).

C=Tamaño del contenedor.

2.3 Sistema ConWIP

El sistema de control de la producción ConWIP (CONstant Work In Progress) fue descrito por Marc L. Sperman, como una generalización de Kanban, para ser más flexible que este. Una de las ventajas con respect a Kanban, es que ConWIP controla el inventario total y no parcial, por lo tanto las condiciones de trabajo son más relajadas.

Al igual que en el sistema de control anterior, ConWIP, controla el proceso mediante tarjetas. Estas tarjetas son asignadas al comienzo a cada pieza. La tarjeta es devuelta una vez la pieza haya terminado su recorrido por las estaciones de trabajo y llegue a la última estación, en ese momento, la tarjeta será liberada para que otra pieza que esté a la espera en la cola pueda ser procesada. La diferencia, es que se asigna la tarjeta a la línea de producción y no a un número de piezas como en Kanban.



Figura 2.3 Sistema de control de producción ConWIP

Como puede observarse, se trata de un sistema cerrado, con retroalimentación entre la primera y la última estación de trabajo.

El número de tarjetas necesarias para controlar un sistema ConWIP se puede definir mediante la fórmula:

$$TH(w) = \frac{w * rb}{w + W_0 - 1}$$

donde

w= número de tarjetas.

rb= tasa del cuello de botella en trabajos por minuto.

W_0 = nivel crítico del WIP de la línea, con un máximo TH operando al ratio cuello de botella.

$$W_0 = r_b * T_0$$

T_0 = Es la suma de los tiempos medios de proceso en las estaciones de trabajo, sin tener en cuenta paradas, variabilidad y fallos.

3. INTRODUCCIÓN A ARENA

El software con el que se va a llevar a cabo la simulación de los métodos seleccionados para el estudio del proceso productivo Job-Shop es Arena, de Rockwell Software. Se trata de un entorno que permite la construcción de modelos para su simulación y obtención de resultados posteriormente.

En este capítulo se procederá a la explicación de los diferentes módulos que se han empleado para la representación del sistema. Se clasificarán en panel de procesos básicos, panel de procesos avanzados y panel de transferencia avanzada.

Se ha hecho uso de la guía de Arena para su explicación.

3.1. Panel de procesos básicos

Módulos de diagramas de flujo

Los módulos de diagrama de flujo representan el diagrama que conforma el modelo de simulación.

- Create: Este modulo está destinado a ser el punto de partida de entidades en un modelo de simulación. Las entidades se crean utilizando un horario o se basan en un tiempo entre llegadas. Las entidades dejan el modulo para comenzar a procesar a través del Sistema. El tipo de entidad se especifica en este modulo. En la zona inferior derecha, se indica el número de entidades que se han creado.

Ver Figura 3.1.

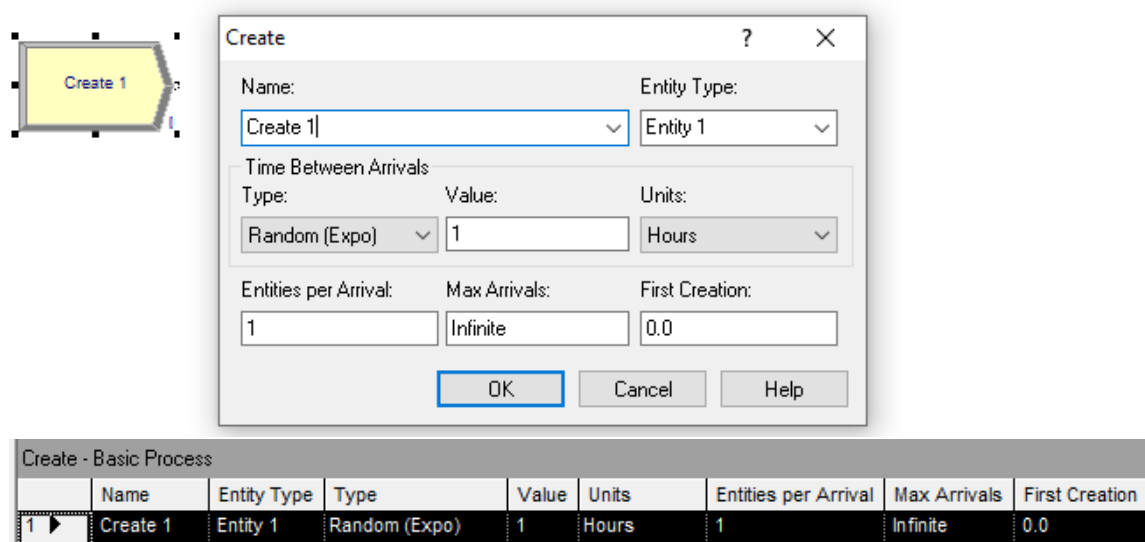


Figura 3.1 Módulo Create

Parámetros:

- Name: Nombre que se le da para identificar al módulo, debe ser único.
- Entity type: Nombre del tipo de entidad que se generará.
- Type: Tipo de flujo de llegada que se generará. Puede ser Random, Schedule, Constant o Expression. En este proyecto se ha hecho uso de Expression, en el que se puede elegir entre distintas distribuciones y Constant, para especificar un valor constante.
- Value: Aparece en el caso de seleccionar Constant, ahí se indica el valor constante para el tiempo entre llegadas.
- Expression: Cualquier distribución o valor que especifique el tiempo entre llegadas. En los casos estudiados se ha empleado la normal, en la que hay que indicar la media y la desviación típica.
- Units: Unidades de tiempo que se usa para los tiempos entre llegada y la primera creación.
- Entities per arrival: Número de entidades que entrarán al sistema con cada llegada.
- Max arrivals: Número máximo de entidades que generará este módulo.
- First creation: Momento en el que la primera entidad llega al sistema.
- Dispose: Último módulo por el que pasan las entidades en un modelo de simulación. Las estadísticas de la entidad pueden registrarse antes de que la entidad sea eliminada.

Ver Figura 3.2.

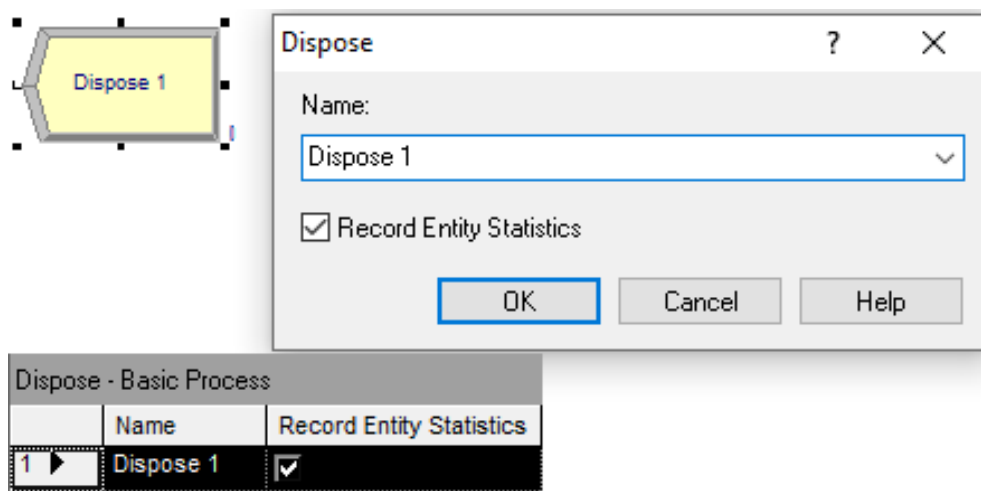


Figura 3.2 Módulo Dispose

Parámetros:

- Name: Nombre que se le da para identificar al módulo, debe ser único.
 - Record entity statistics: Se activará si se quiere registrar las estadísticas de las entidades.
- Process: Este módulo corresponde a la principal forma de procesamiento en simulación.

Ver Figura 3.3.

	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Report Statistics
1	Process 1	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	.5	1	1.5	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.3 Módulo process

Parámetros:

- Name: Nombre que se le da para identificar al módulo, debe ser único.
- Type: Método que especifica la lógica dentro del módulo. Se puede seleccionar Standard o Submodel, para este caso particular, todos van a ser de tipo Standard. El procesamiento Standard significa que toda la lógica será almacenada dentro del módulo process y definida por una acción particular.
- Action: Tipo de proceso que ocurrirá una vez la entidad entre en el módulo. Hay cuatro tipos: Delay, Seize Delay, Seize Delay Release y Delay Release. En el proyecto actual, los usados fueron:
 - Seize Delay: La entidad posee un recurso y sufrirá un retardo. La liberación se llevará a cabo mediante el módulo Release.
 - Seize Delay Release: A la entidad se le asigna un recurso, sufre un retardo y finalmente el recurso es liberado.

Como se muestra en la figura 3.3, en nuestro caso, el apartado action se usará Seize Delay Release. En todos los posibles casos en este apartado, aparecen parámetros análogos para completar.

- Priority: Valor de prioridad de la entidad que espera en este módulo para el recurso especificado si una o más entidades están esperando el mismo recurso en cualquier parte

del modelo.

- **Resources:** En este apartado se puede añadir una lista de recursos o conjuntos de recursos que se utilizarán para procesar la entidad. Al añadir un recurso aparece un cuadro de diálogo (Ver figura 3.4) con los siguientes parámetros:
 - **Type:** Especificación de un recurso particular, o la selección de un conjunto de recursos. En este caso concreto, añadiremos solo recursos particulares.
 - **Resource name:** Nombre que se le va a dar al recurso.
 - **Quantity:** Cantidad de recursos.

Figura 3.4 Resource en módulo process.

- **Delay Type:** Tipo de distribución o método que especifica los parámetros de retardo.
 - **Units:** Unidades de tiempo para los parámetros de retardo.
 - **Allocation:** determina cómo se asigna el tiempo de proceso y el coste del proceso a la entidad.
- **Decide:** Este módulo permite la toma de decisiones en el sistema. Las decisiones pueden estar basadas en una o más probabilidades o en una o más condiciones.

	Name	Type	Percent True
1 ▶	Decide 1	2-way by Chance	50

Figura 3.5 Módulo Decide

The image shows a software dialog box titled "Decide". It has a "Name:" field with the text "Decide 1" and a "Type:" dropdown menu showing "2-way by Condition". Below these, there are three fields: "If:" with a dropdown showing "Variable", "Named:" with a dropdown showing "Variable 1", and "Is:" with a dropdown showing ">=". At the bottom of these fields is a "Value:" text box containing the number "1". At the very bottom of the dialog are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Figura 3.6 Variable en módulo Decide.

Parámetros:

- Name: Nombre que se le da para identificar el módulo, debe ser único.
- Type: En este apartado existen 4 posibles tipos; 2- way by Chance, 2- way by Condition, N-way by chance y N-way by Condition. En los dos primeros, las salidas que va a tener el Decide es de verdadero o falso y en los demás casos, múltiples salidas. Consta de los siguientes parámetros:
 - If: Se selecciona el tipo de condición, ya sea Variable, Attribute, Entity type o Expression. En el caso de elegir 2-way by Condition se seleccionará Expression o Variable. Seleccionando Expression el último parámetro a completar sería el valor de la expresión que se debe cumplir para que sea verdadero (ver figura 3-5), en caso contrario, sería falso. Si seleccionas Variable (ver figura 3-6) aparecen una serie de parámetros a rellenar explicados a continuación. Si la elección es N-way by condition (ver figura 3-7), aparecerá este parámetro al añadir condiciones, que se añaden tantas como ramas menos una se quieran, ya que hay que tener en cuenta la rama de falso, es decir cuando ninguna de las condiciones verdaderas se cumple. Para este caso concreto, en este proyecto, se seleccionará Attribute.
 - Name: Concreta el nombre del atributo, se evaluará cada vez que una entidad entre en el módulo.
 - Is: Evaluador de la condición.
 - Value: Se trata de la expresión que se evaluará con el atributo para determinar si es verdadero o falso.

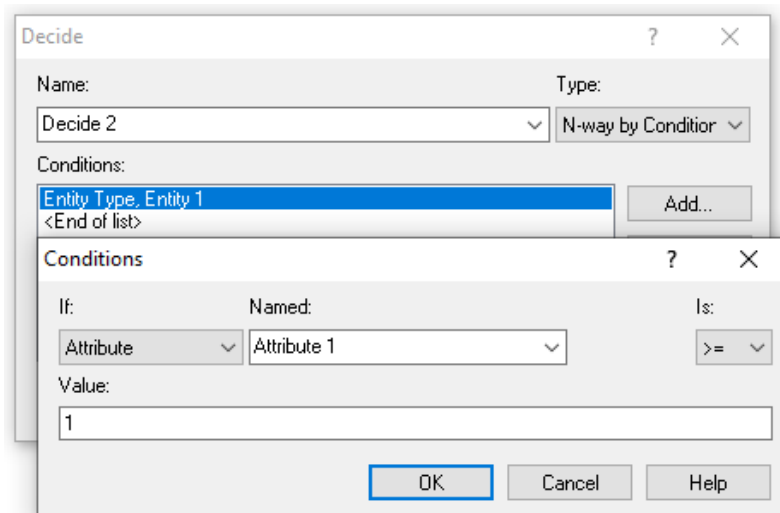


Figura 3.7 Condiciones en módulo Decide; N-way by condition.

- Assign: La función de este módulo es asignar nuevos valores a las variables, a los atributos de las entidades, a tipos de entidades, ilustraciones de las entidades u otras variables del sistema. Se pueden realizar múltiples asignaciones con un único módulo Assign. Ver Figura 3.8.

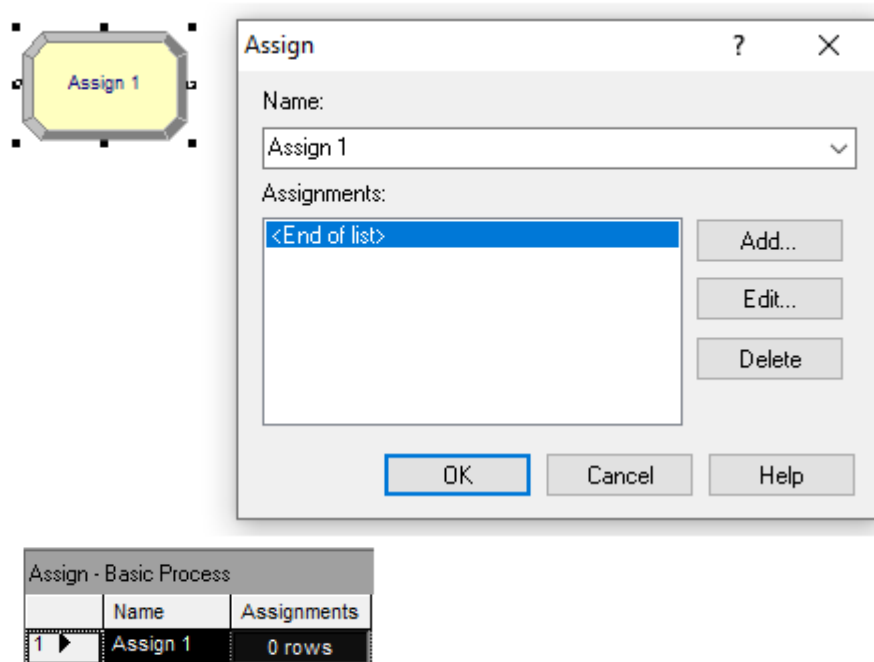


Figura 3.8 Módulo Assign

Parámetros:

- Name: Nombre que se le da para identificar al módulo, debe ser único.
- Assignments: Especifica las asignaciones que se harán cuando la entidad ejecute el módulo. A continuación, se detallan los parámetros para completar pertenecientes a assignments:
 - Type: Tipo de asignación que se llevara a cabo.

- Attribute name: Nombre del atributo de la entidad al que se le asignará un nuevo valor cuando la entidad entre al módulo. Este parámetro aparece en caso de seleccionar Attribute.
 - Variable name: Nombre de la variable que se le asignará un nuevo valor cuando la entidad entre al módulo.
 - Other: Identifica la variable del sistema especial al que se le asignará un nuevo valor cuando la entidad entre al módulo.
 - New value: Valor asignado al atributo, variable u otra variable del sistema.
- Record: Este módulo se utiliza para recopilar estadísticas en el modelo de simulación. Ver Figura 3.7.

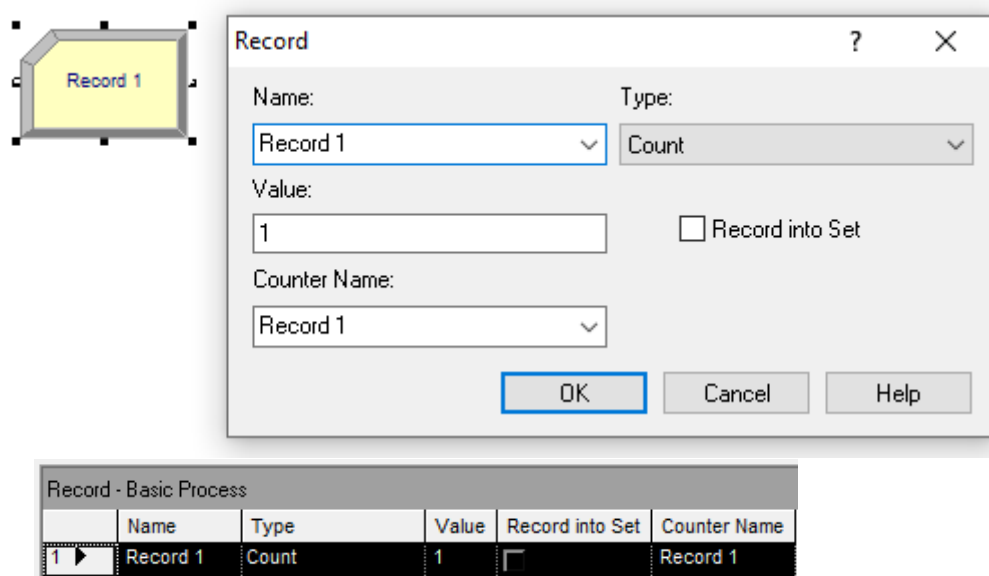



Figura 3.7 Módulo Record

Parámetros:

- Name: Nombre que se le da para identificar al módulo, debe ser único.
- Type: Tipo de estadística observacional o estadística de recuento a generar. Puede ser: Count, Entity Statistics, Time Interval, Time Between y Expression. Los parámetros para completar serían:
 - Attribute name: Nombre del atributo cuyo valor se usará para las estadísticas de intervalo.
 - Value: Valor que se registrará en la estadística de observación. Cuando el tipo es Expression.
 - Tally name: Define el nombre de la cuenta en la que se va a registrar la observación.
 - Record into Set: Casilla de verificación para especificar si se utilizará o no un conjunto de contadores.

3.1.2 Módulos de datos

- Entity module: este módulo de datos define los diversos tipos de entidades y sus valores de imagen iniciales en una simulación. También, se definen tanto los costes de mantenimiento en este apartado como el coste inicial para la entidad. Ver figura 3.8.




Entity

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Entity 1	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
2 ▶	Entity 2 ▼	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.8 Módulos de datos Entity

Parámetros:

- Entity Type: el nombre del tipo de entidad que se define. Este nombre debe ser único.
- Initial Picture: Representación gráfica de la entidad al inicio de la simulación. este valor se puede cambiar durante la simulación usando el módulo Assign.
- Queu module: este módulo de datos se puede utilizar para cambiar la regla de clasificación para la cola especificada. La regla de clasificación predeterminada para todas las colas es First In, First Out a menos que se especifique lo contrario en este módulo. Hay un campo adicional que permite que la cola se defina como compartida. Ver figura 3.9.



Queue

Queue - Basic Process				
	Name	Type	Shared	Report Statistics
1	Queue 1	First In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Queue 2	Last In First Out	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.9 Módulo de datos Queue

Parámetros:

- Name: el nombre de la cola cuyas características se están definiendo. Este nombre debe ser único.
- Type: regla de clasificación para la cola, puede basarse en un atributo. Los tipos son: First In, First Out; Last In, First Out; Lowest Attribute Value (first); and Highest Attribute Value (first). En este proyecto se hizo uso del tipo FIFO (First In First Out) y Lowest Attribute Value.
- Report Statistics: especifica si las estadísticas se recopilarán automáticamente o no y se almacenarán en la base de datos del informe para esta cola.
- Resource module: este modulo de datos define los recursos en el sistema de simulación. Se incluyen en el la información acerca de los costes, disponibilidad de los recursos, fallos de

recursos y estados. La capacidad de estos, puede ser fija o regirse mediante un calendario. Ver figura 3.10.



Resource

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Resource 1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Resource 2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.10 Módulo de datos Resource

Parámetros:

- Name: es el nombre del recurso cuyas características se van a definir. Este nombre debe ser único.
- Type: método para determinar la capacidad de un recurso. Existen dos casos: fixed capacity y base on schedule. Según el tipo *fixed capacity*, la capacidad no se verá afectada durante la simulación, en cambio, con base on schedule, se utiliza un modulo schedule para detallar la información de capacidad y la duración del recurso.
- Capacity: número de unidades de recursos de un nombre dado que están disponibles para el sistema para su procesamiento. Se aplica solo cuando el tipo es Fixed Capacity.
- Report statistics: especifica si las estadísticas se recopilarán automáticamente o no y se almacenarán en la base de datos del informe para este recurso.
- Variable module: este módulo de datos se usa para definir la dimensión de una variable y el valor inicial. Las variables se pueden referenciar en otros módulos, se pueden reasignar a un nuevo valor con el module Assign y se pueden usar en cualquier expresión. Ver figura 3.11.



Variable

Variable - Basic Process								
	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Initial Values	Report Statistics
1	Variable 1			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>
2	Variable 2			Real	System		0 rows	<input type="checkbox"/>

Figura 3.11 Módulo de datos Variable

Parámetros:

- Name: nombre de la variable, como en los casos anteriores debe ser único.
- Clear option: define el tiempo cuando el valor de la variable se restablece al valor inicial especificado. En el modelo a ejecutar, se escogerá la opción System, la variable debe volver al valor inicial cada vez que se borre del sistema.
- Initial values: lista de los valores iniciales de las variables. Los valores pueden modificarse usando el modulo assign.

3.2 Panel de procesos avanzados

3.2.1 Módulos de diagrama de flujos

- Delay: Este modulo se encarga de retrasar una entidad una cantidad de tiempo especificada. Ver figura 3.12.

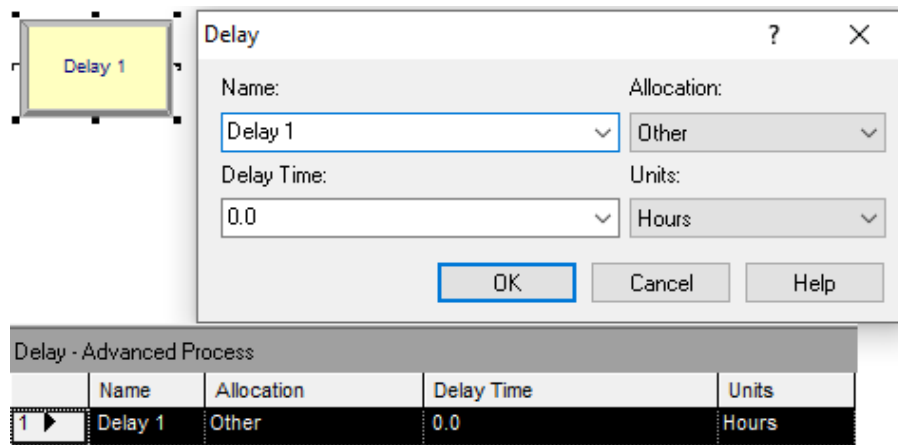


Figura 3.12 Módulo Delay

Parámetros:

- Name: nombre del modulo, debe ser único.
 - Allocation: Categoría a la que se le sumará el tiempo y el coste de demora de la entidad.
 - Delay time: Establece el valor de la demora para la entidad.
 - Units: Unidades de tiempo para el tiempo de demora.
-
- Hold: Módulo que mantiene una entidad en una cola a la espera de una señal, el cumplimiento de una condición o será detenida indefinidamente. Ver figura 3.13.

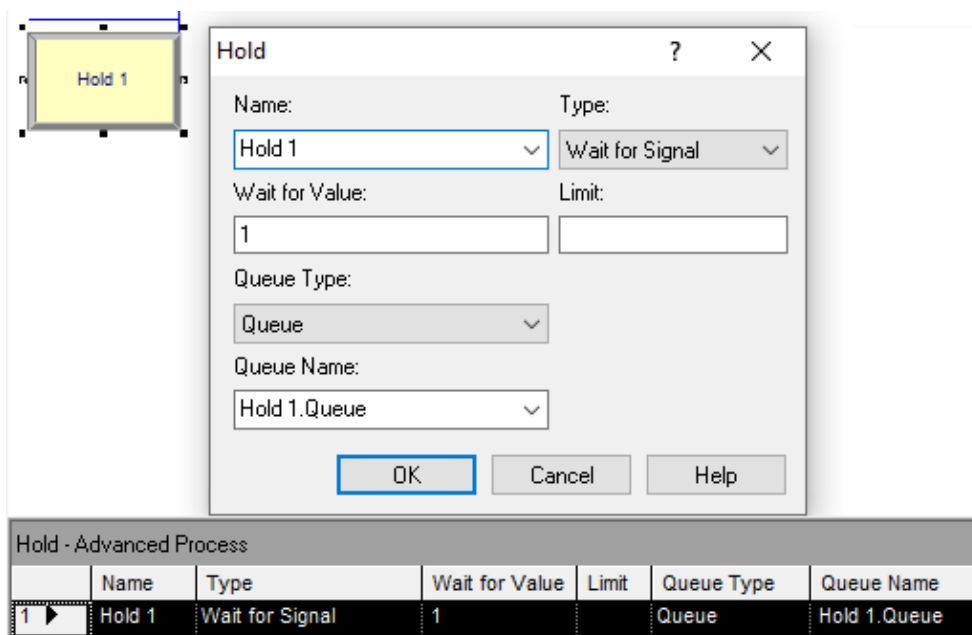


Figura 3.13 Módulo Hold

Parámetros:

- Name: nombre que se le da al módulo, debe ser único.
- Type: indica qué hacer para mantener a la entidad en una cola específica o interna. Si se escoge Wait for a Signal, esperará a que le llegue una señal del mismo valor de un módulo Signal, que se encontrará en el modelo, para continuar al siguiente módulo. En el caso de escoger la opción Scan for Condition, mantendrá la entidad hasta que se cumpla una condición. Si se opta por Infinite Hold, la entidad permanecerá en la cola hasta que sea eliminada por un módulo Remove.
- Wait for Value: señal para la entidad en espera. Se aplica solo en el caso de usar Wait for a Signal.
- Limit: número máximo de entidades que serán liberadas al recibir la señal. Se aplica solo en el caso de utilizar Wait for Signal.
- Condition: en este apartado, se detalla la condición que se evaluará para mantener a la entidad en el módulo. Si la condición es verdadera, la entidad dejará el módulo inmediatamente. En caso de ser falsa, la entidad esperará en la cola hasta que sea verdadera. Se aplica solo cuando es Scan for Condition.
- Queue Type: determina el tipo de cola que se usa para mantener la entidad. Se puede elegir entre Queue, Set, Internal, Attribute y Expression. En la simulación, para los módulos Hold de se utilizará Queue.
- Queue name: aparece al seleccionar Queue; define el nombre de la cola.
- Release: El módulo se utiliza para liberar unidades de un recurso que una entidad había tomado previamente. Puede usarse para liberar recursos individuales o conjunto de recursos. Ver figura 3.14.

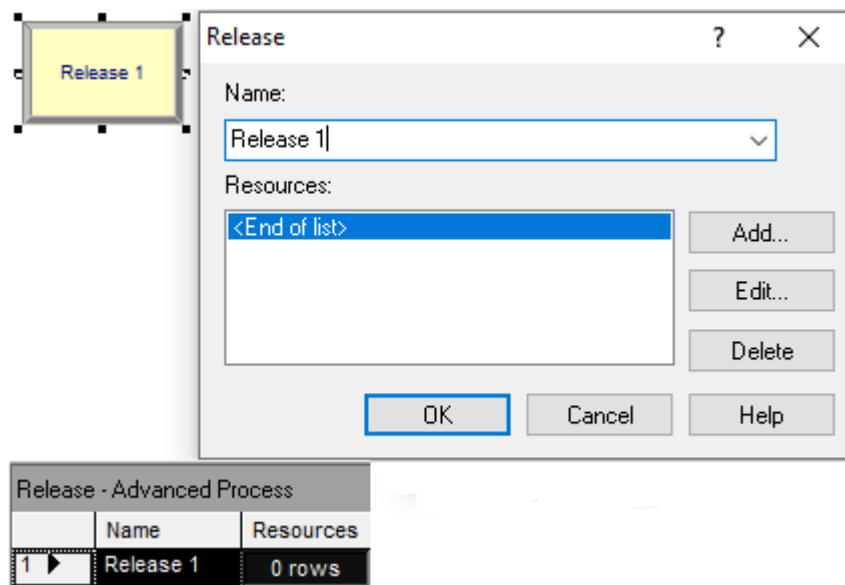


Figura 3.14 Módulo Release

Parámetros:

- Name: nombre para identificar el módulo, debe ser único.
- Resources: en este apartado, especifican los recursos a liberar. En la figura 3.15 se detalla este cuadro de diálogo en el módulo Release con los siguientes parámetros:
 - Type: Tipo de recurso para liberar. Pueden ser Resource, Set, Attribute, Expression. Para este proyecto siempre se seleccionará Resource.
 - Resource name: Nombre del recurso que será liberado.
 - Quantity: Numero de recursos de un nombre dado que serán liberados.

Figura 3.15 Resource en módulo Release

- Signal: El modulo envía la señal a cada modulo Hold que este configurado con wait for a Signal y libera el máximo número de entidades. Ver figura 3.16.

	Name	Signal Value	Limit
1 ▶	Signal 1	1	

Figura 3.16 Módulo Signal

Parámetros:

- Name: Nombre que se le da para identificar al módulo, debe ser único.
- Signal Value: Valor de la señal que se envía a las entidades en los módulos Hold.
- Limit: Máximo número de entidades que son liberadas de cualquier módulo Hold cuando reciben la señal.

3.2.2 Módulos de datos

- Advanced Set: en este modulo de datos se especifican los conjuntos de colas, almacenamientos y otros conjuntos y respectivos miembros. Un conjunto define un grupo de elementos parecidos entre sí que se pueden referenciar mediante un nombre común y un índice establecido. A los elementos del conjunto conforma los miembros del conjunto. Ver figura 3.17.

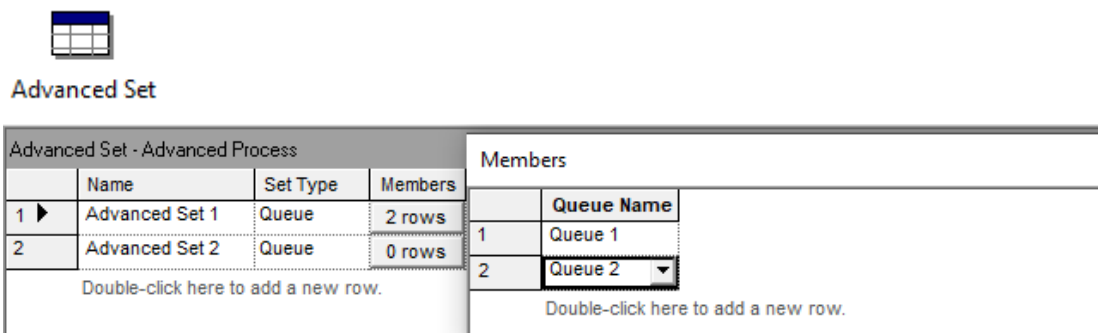


Figura 3.17 Módulo Advanced Set

Parámetros:

- Name: se trata del nombre de Advanced Set, en él se definirán los miembros. El nombre tiene que ser único.
- Set Type: Tipo de conjunto que se está definiendo, puede incluir: Queue, Storage u Other.
- Other: nombre de los miembros que están incluidos dentro del tipo de conjunto.

3.3 Panel de transferencia avanzada

3.3.1 Módulos de diagrama de flujo

- Route: este módulo transfiere una entidad a una estación especificada o a la siguiente estación definida por una secuencia de visitas para la entidad. Se puede definir un tiempo de retardo para transferir a la siguiente estación. Ver figura 3.18.

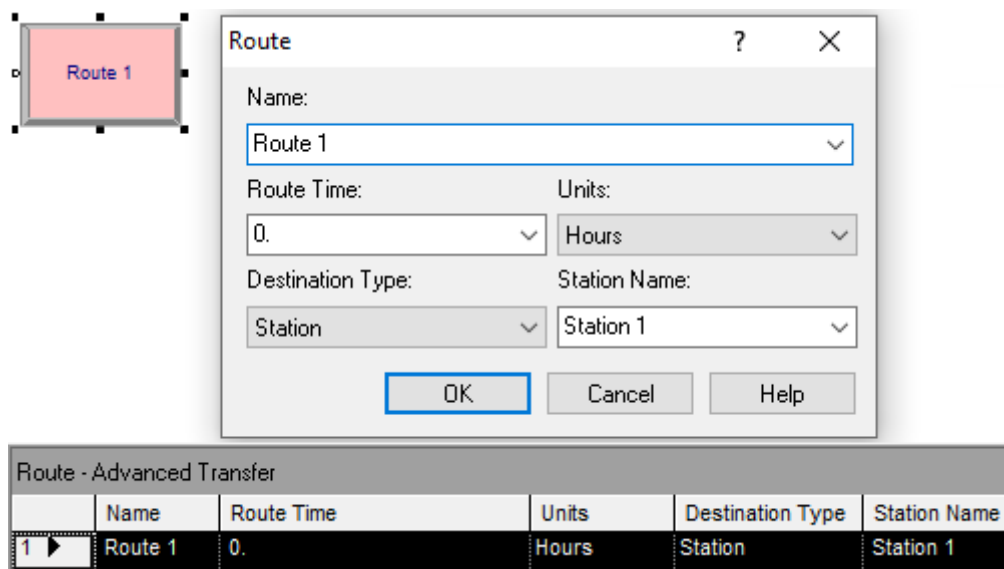


Figura 3.18 Módulo Route

Parámetros:

- Name: nombre para identificar el módulo. Este nombre debe ser único.
- Route Time: tiempo de viaje desde la ubicación actual de la entidad a la estación de destino.
- Units: Unidades de tiempo para el parámetro Route Time.
- Destination type: forma de determinar el destino de la entidad. Existen diferentes opciones, entre ellas: Station, Sequential, Attribute y Expression. En el caso de secuencia, se necesita que a la entidad se le haya asignado una secuencia y que esa secuencia haya sido previamente definida. Para las simulaciones realizadas se hace uso de Station y Sequential.
- Station name: se trata de un parámetro que define el nombre de la estación de destino, en el caso de elegir station.
- Station: módulo que define una ubicación donde se produce el procesamiento. Se utiliza porque le brinda claridad al modelo al separar ciertos procesos y hacer más fácil su manejo. Ver figura 3.19.

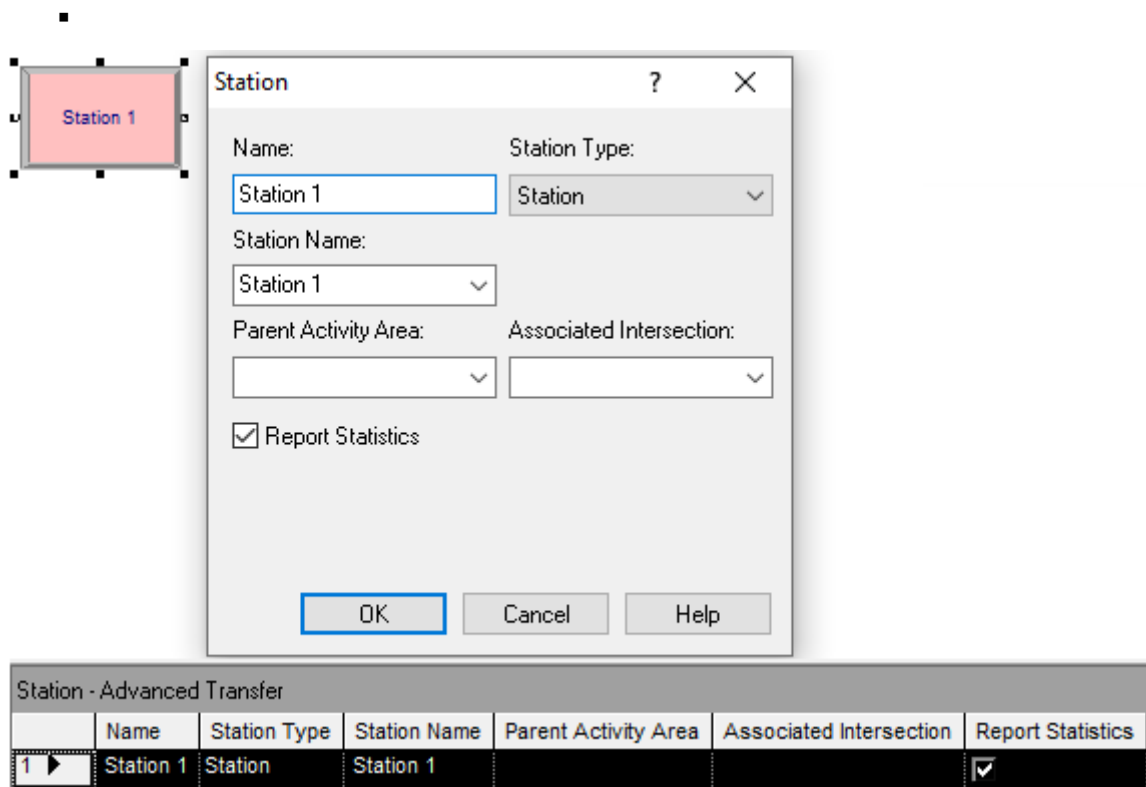


Figura 3.19 Módulo Station

Parámetros:

- **Name:** nombre que se le da para identificar al módulo. El nombre debe ser único.
- **Station Type:** tipo de estación que se va a definir, puede ser individual o un conjunto, en este caso se escogerá el tipo individual.
- **Station Name:** nombre de la estación individual.
- **Parent Activity Area:** nombre del área de actividad.
- **Report Statistics:** se trata de una casilla que verifica si las estadísticas se recopilan automáticamente y se almacena en la base de datos del informe para esta estación y su área de actividad correspondiente.

4 MODELOS

El modelo del cual se llevará a cabo la simulación en Arena se trata de un sistema Job Shop, compuesto por 4 estaciones de trabajo en serie. Las estaciones contarán con un tiempo de proceso idéntico para cada una, el cuál iremos variando para probar diferentes escenarios. En ambos sistemas se tendrá el mismo número de tarjetas, con el fin de poder compararlos con el mismo nivel de WIP. En el sistema Kanban, cada estación de trabajo tendrá dos tarjetas de producción, eso hace un total de 8 tarjetas. Para la simulación con ConWIP, como se explicó anteriormente, el número de tarjetas debe ser igual, por lo tanto, el WIP máximo permitido será 8.

Los escenarios que van a estudiarse son 3:

1. FIFO. La primera pieza que llega es la primera pieza que sale.
2. Según la fecha de entrega.
3. Lead Time.

Las distribuciones empleadas para el tiempo de proceso en las máquinas siguen una distribución Normal. Para la llegada de las piezas, se utiliza una distribución Exponencial. Para el caso de las fechas de entrega, la distribución que se emplea es una Uniforme. Todas estas distribuciones van expresadas en minutos.

4.1. Modelado en entorno Kanban

Como existen varios escenarios que van a ser estudiados, existen 3 modelos diferentes para Kanban, uno para FIFO, otro para la ordenación según fecha de entrega y lead time.

4.1.1 FIFO

En primer lugar, en este modelo, se tiene las llegadas de la pieza. Como se ve en la figura 4.1, se compone de un create, en el que llegan las piezas según una Exponencial (12), donde seguidamente se comenzará con la secuencia. La secuencia que van a seguir es 1-2-3-4.

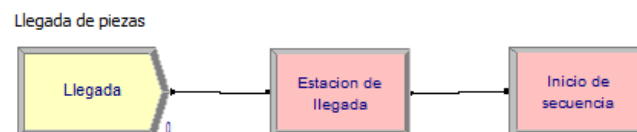


Figura 4.1. Llegada de las piezas

Figura 4.2 Create de llegadas de piezas

Las piezas, después de su llegada, comienzan a ser procesadas en las distintas máquinas. En la figura 4.3 se puede apreciar de qué forma pasan por cada máquina.

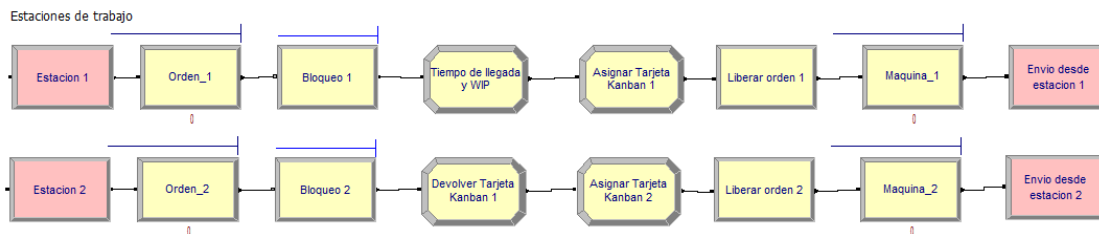


Figura 4.3 Estaciones de trabajo

Cada estación se compone de un Station, que es el que recibe la pieza. Después de este Station, hay un Process en llamado Orden, en el que la pieza va a esperar hasta que se cumpla la condición de que haya tarjetas y que la máquina esté desocupada. Lo que sigue al process, es un módulo Hold, que se encarga de verificar lo anteriormente comentado, si existen tarjetas y máquina disponible. En la figura 4.4 se detallan los módulos.

Figura 4.4 Módulo Process y Hold

En el proceso 1, el primer Assign, se define una variable WIP, que se va a incrementar a medida que entren piezas en él y un atributo, tiempo de llegada, para determinar el tiempo de ciclo de la pieza. A continuación, en el siguiente Assign, se tiene una variable que se llama Tarjeta Kanban 1, la cual se va a decrementar, debido a que se le concede a la pieza una tarjeta para poder ser procesada en la máquina 1, definida con un módulo process. Cuando esta pieza acaba en la primera máquina, se envía a la siguiente estación de trabajo conectada por un Route y el Station de la estación 2.

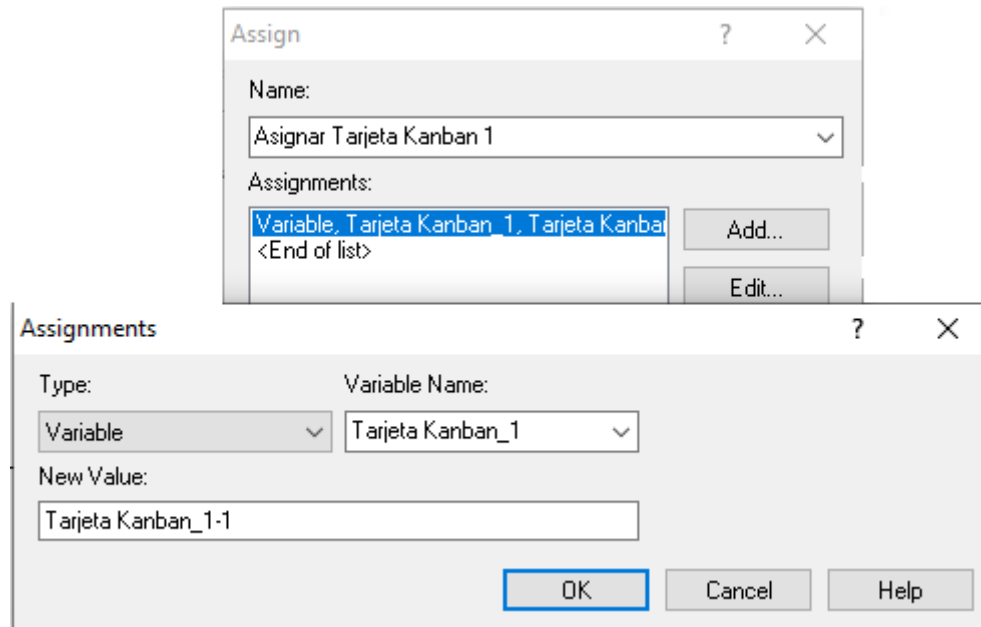


Figura 4.5 Asignar tarjeta Kanban

Lo que diferencia la estación 1 de la estación 2, es que el primer Assign de la estación 2, va a devolver la tarjeta Kanban 1 a la estación primera para que puedan seguir procesándose piezas en esta, por lo tanto, la variable anterior, Tarjeta Kanban 1, en este caso aumenta una unidad.

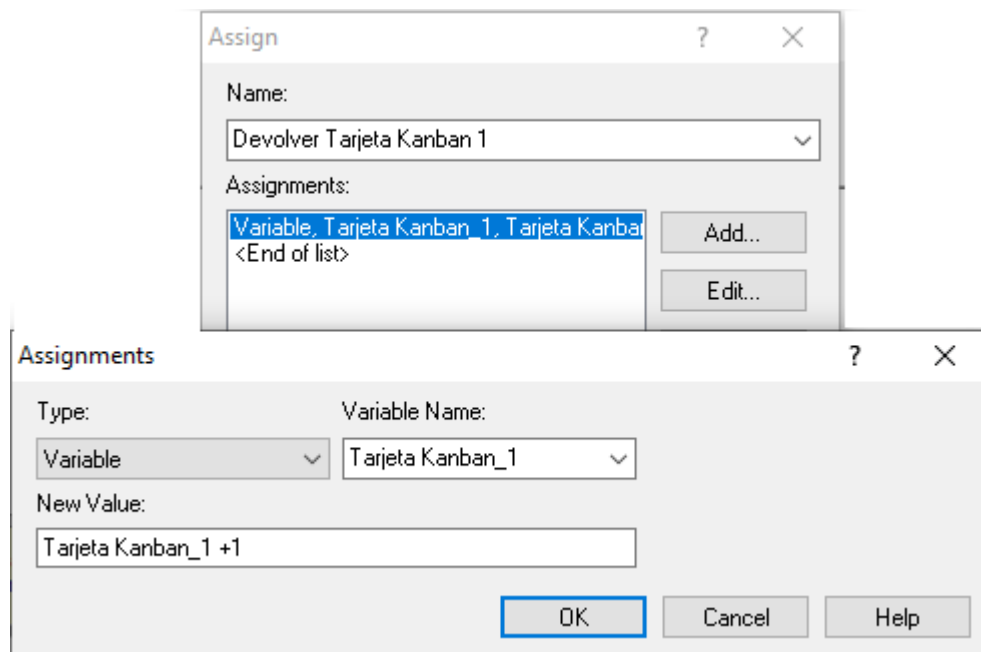


Figura 4.6 Devolver tarjeta Kanban

La última estación es igual a las demás, pero al final se añadirá un Assign, en el que devolveremos la Tarjeta Kanban 4. Después de este, se añade un Route, que dirigirá la pieza a la salida.

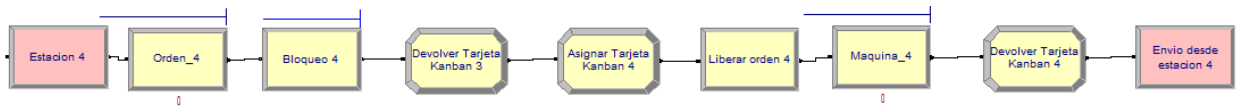


Figura 4.7 Estación de trabajo 4

La salida de la pieza procesada viene definida por un Station llamado salida de pieza, conectado con el Route de la estación 4. Al salir la pieza, la variable WIP, disminuye en una unidad y el módulo Record se utiliza para tener el tiempo de ciclo de la pieza. Finalmente, se acaba el proceso en el módulo Dispose de salida.



Figura 4.8 Salida de la pieza

Para el WIP en proceso se cuenta con un demonio. Este demonio, está formado por un módulo Create en el que, dentro de él, se define el tiempo entre llegadas con una expresión de 5 minutos. Un Record, que es el encargado de darnos el WIP promedio en los resultados finales y un Delay, con un retraso de 5 minutos.

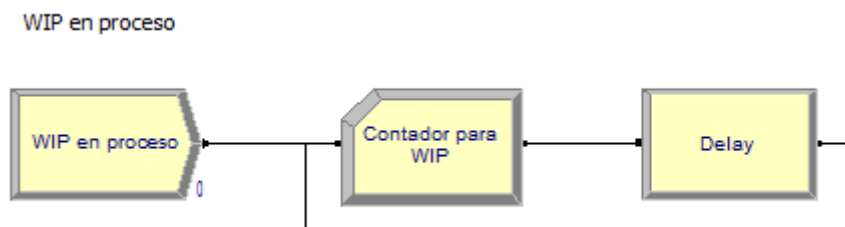


Figura 4.9 Demonio para WIP en proceso

4.1.2 Modelo ordenado según fecha de entrega

El modelo Kanban, que ordena las piezas según fecha de entrega, tiene una ligera variación en cuanto al modelo anterior. En este la llegada de piezas es distinto como se puede apreciar en la figura 4.10.

Llegada de piezas

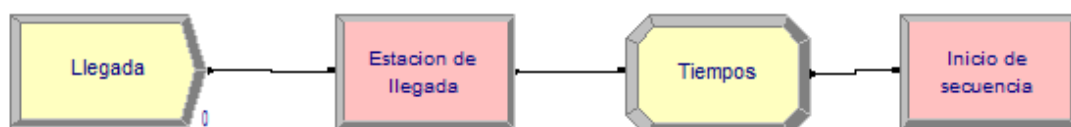


Figura 4.10 Llegada de piezas Kanban, ordenadas según fecha de entrega

Como se puede observar, en este caso, esta llegada cuenta con un nuevo módulo Assign. Es el encargado de definir los tiempos de procesos con un atributo según una distribución Normal, otro atributo para los tiempos de entrega según una distribución Uniforme y un atributo de tiempo de llegada de la pieza para obtener el tiempo de ciclo. Figura 4.11.

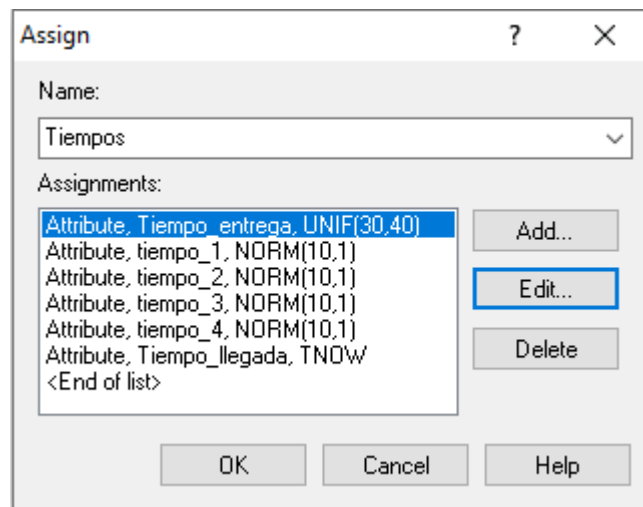


Figura 4.11 Assign de tiempos

A partir de este módulo, aquellos que van después, tanto las estaciones de trabajo, el contador de WIP en proceso y la salida de piezas, está formado por los mismos módulos que en el caso anterior.

4.1.3 Lead time

El último modelo de Kanban la salida de las piezas se modelará de tal forma que tengamos un contador que verifique qué porcentaje de piezas que son procesadas cumplen con su fecha de entrega. A continuación, se muestra el módulo completo y se explicará paso a paso para su entendimiento.

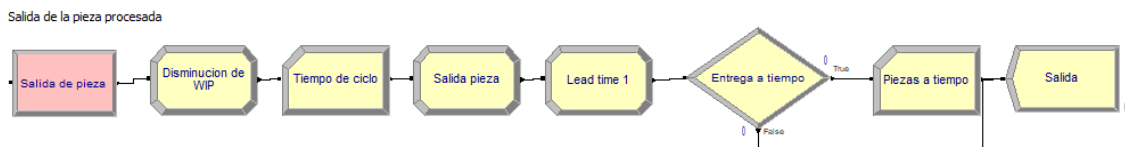


Figura 4.12 Módulo de salida de piezas procesadas

El módulo cuenta con un Station, donde llegan las piezas que provienen de la máquina 4 al terminar de ser procesadas. Se disminuye la variable WIP, al salir la pieza del sistema. El Record es el encargado de proporcionar la información del tiempo de ciclo promedio. El Assign de salida de pieza, contine un atributo que determina el momento del tiempo en el que la pieza va a salir.

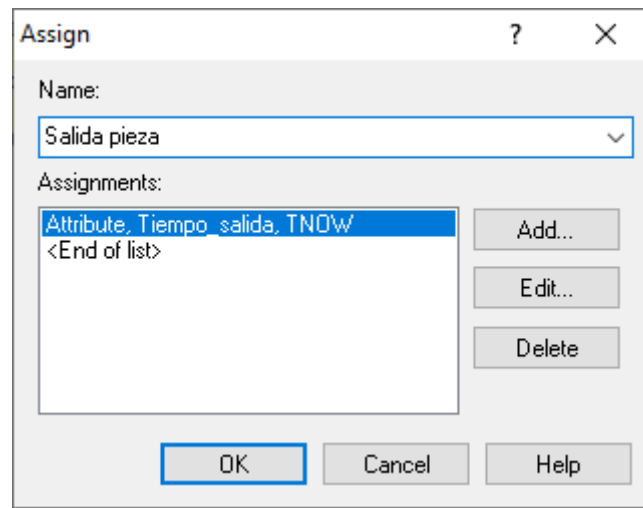


Figura 4.13 Assign para el tiempo de salida

El siguiente Assign, define el atributo Lead time, como la diferencia entre el tiempo de salida y el tiempo de entrada.

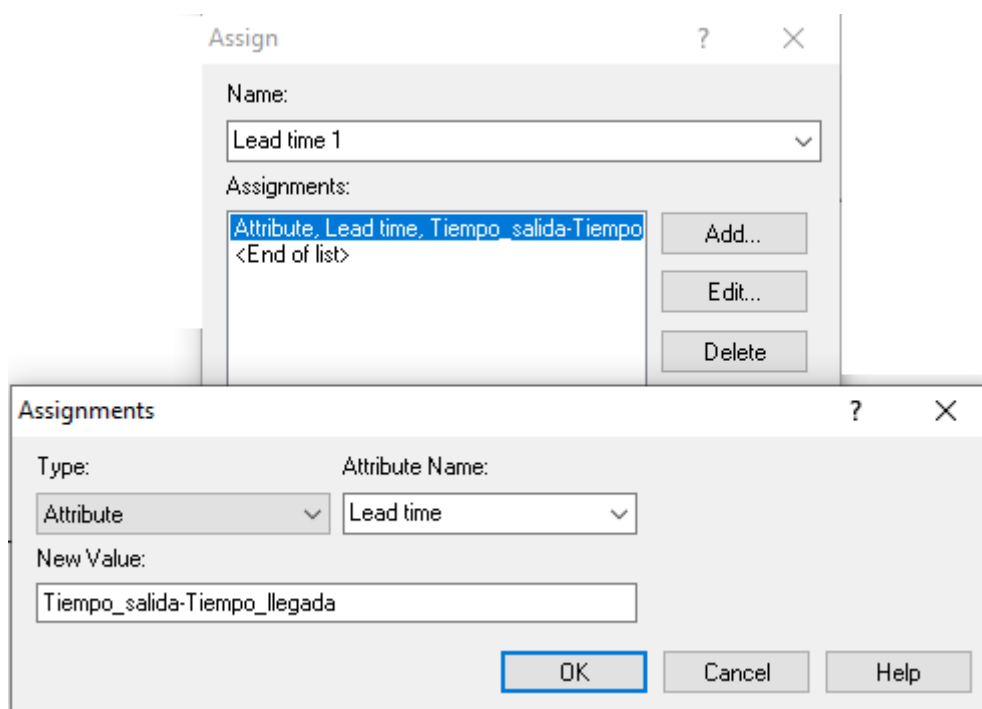


Figura 4.16 Assign, Lead time

Este modelo, tiene la finalidad de saber cuántas piezas de las procesadas cumplen con su fecha de entrega. Para ello, se coloca un módulo Decide en el que cuando se cumpla la condición de que el atributo Lead time sea menor que la fecha de entrega pase por True, en caso contrario saldrá por la salida de False.

The 'Decide' dialog box is shown with the following configuration:

- Name:** Entrega a tiempo
- Type:** 2-way by Condition
- If:** Attribute
- Named:** Lead time
- Is:** <=
- Value:** Fecha_entrega

Figura 4.17 Condición de entrega a tiempo

Después de este Decide, viene definido un Record que es un contador de las piezas que cumplen con la fecha de entrega. Finalmente, el proceso acaba con un Dispose de salida.

The 'Record' dialog box is shown with the following configuration:

- Name:** Piezas a tiempo
- Type:** Count
- Value:** 1
- Record into Set:** ☐
- Counter Name:** Piezas a tiempo

Figura 4.18 Record para piezas que cumplen con la fecha de entrega

4.2 Modelado para entorno ConWIP

Exactamente igual que para el modelo Kanban, ConWIP posee 3 modelos diferentes para la simulación. Empezaremos explicando el model según FIFO, según fecha de entrega y Lead Time.

4.2.1 FIFO

El modelo según la ordenación de las piezas por orden de llegada viene definido por el primer modulo de llegada de piezas como se puede ver en la Figura 4.19.

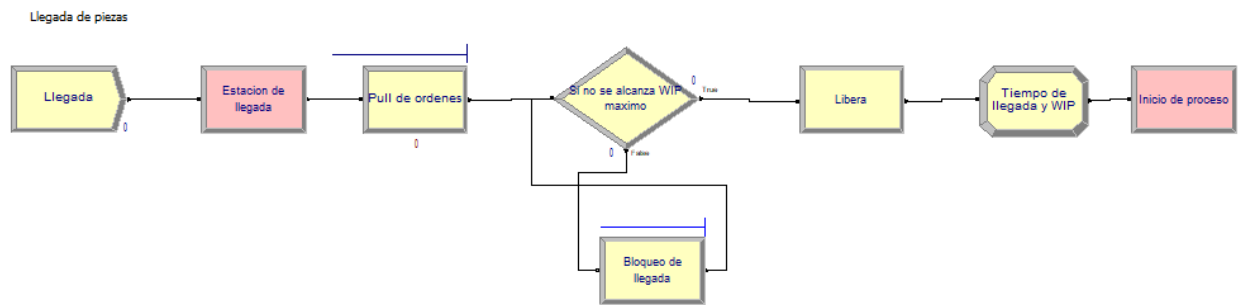


Figura 4.18 Módulo de llegada de piezas

Este módulo consta de un Create de llegadas de piezas, expresado mediante una distribución Exponencial en minutos. Seguido del Create se tiene un Station donde van a parar las piezas para llegar al módulo Process de pull de órdenes. Este Process contiene un Resource llamado pull, se encarga de mantener las piezas en cola hasta que se cumpla la condición del módulo Decide que le sigue.

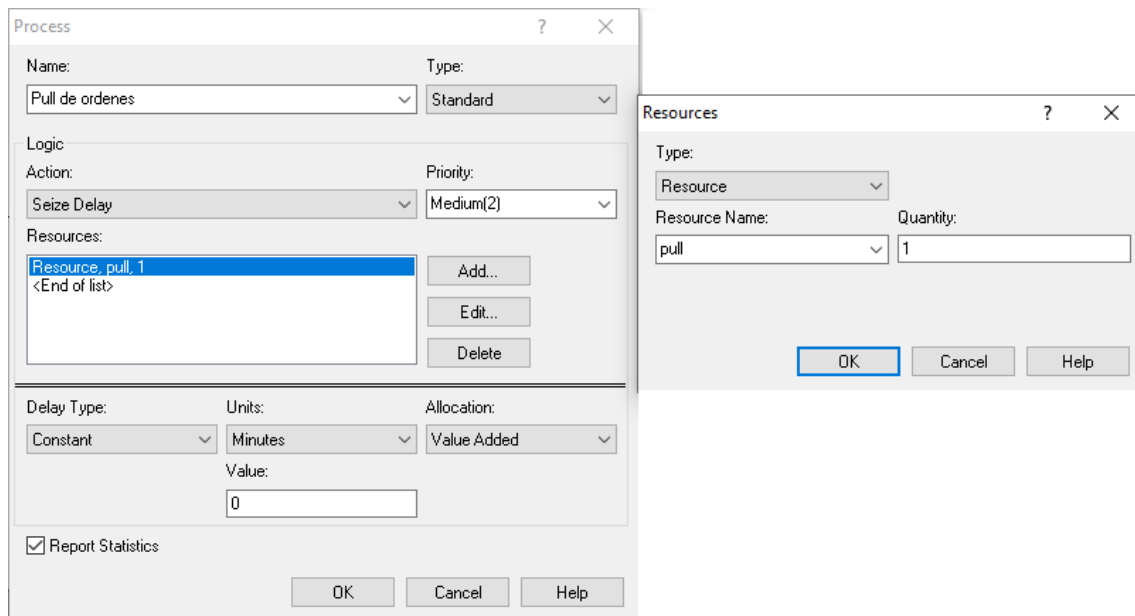


Figura 4.19 Pull de órdenes

El Decide está compuesto por una condición que debe ser cumplida para poder dejar pasar las piezas a las estaciones de trabajo.

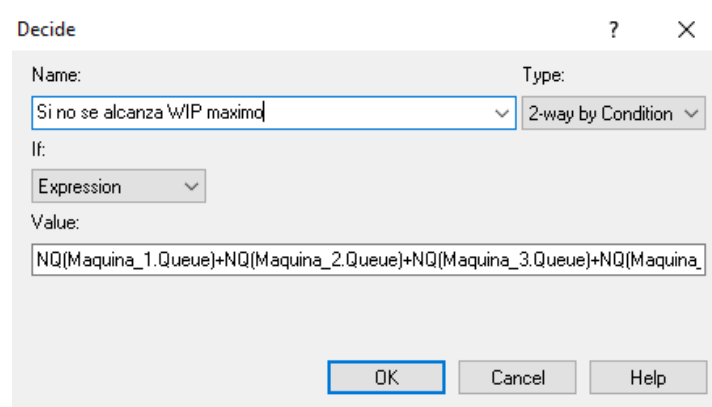


Figura 4.20 Decide WIP máximo

Esta expresión viene definida por el sumatorio de NQ para todas las máquinas y su valor siempre tiene que ser inferior a 8, como antes definimos el WIP máximo del sistema. Si el valor es True, deja pasar la pieza al siguiente módulo Release, en cambio si el valor es 0, pasará a la cola del módulo Hold. Finalmente, en este módulo de llegada de piezas, se tiene un Assign, donde se incrementa la variable WIP al pasar una pieza por el y se le añade un atributo de tiempo de llegada de la pieza. A partir de este, se coloca un Route para el inicio de secuencia de la pieza en el sistema.

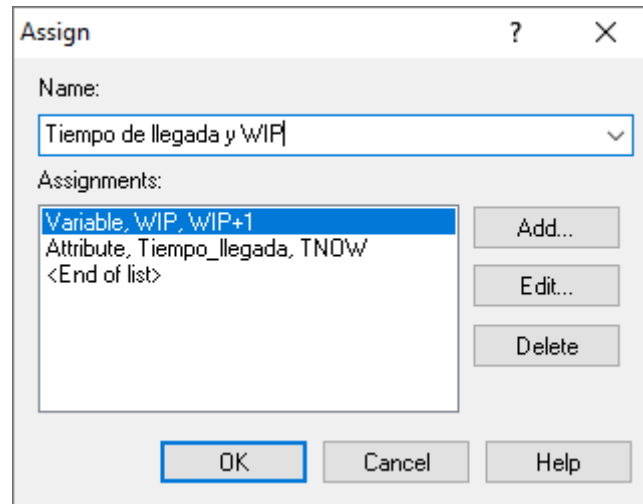
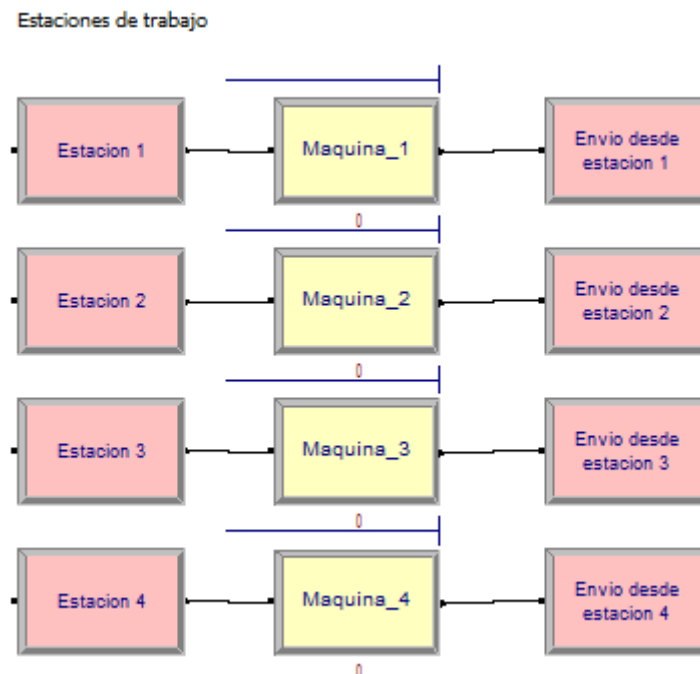


Figura 4.21 Assign tiempo de llegada y WIP

Las estaciones de trabajo en este modelo son más simples, ya que cada estación de trabajo no posee tarjetas de producción como en Kanban.



4.22 Estaciones de trabajo en ConWIP

Las estaciones constan todas de un Station en el que reciben la pieza. El módulo Process, que se encarga de procesar la pieza y un Route que es el encargado de enviar la pieza a la siguiente estación de trabajo.

Process

Name: Maquina_1 Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

Resource, Maquina 1, 1
<End of list>

Add...
Edit...
Delete

Delay Type: Normal Units: Minutes Allocation: Value Added

Value (Mean): 10 Std Dev: 1

☒ Report Statistics

OK Cancel Help

Figura 4.23 Process

Cada Process para las diferentes máquinas, consta de un recurso, que es la máquina y se define en él el tiempo de proceso según una Normal (10,1) expresada en minutos.

El cálculo de WIP promedio se realiza mediante un demonio, como en el caso de Kanban. Este demonio consta de un módulo Create, con tiempo constante de 5 minutos, un módulo Record dónde el valor de la expresión que va a dar es el de la variable WIP y un delay con un retraso de 5 minutos.

Contador de WIP

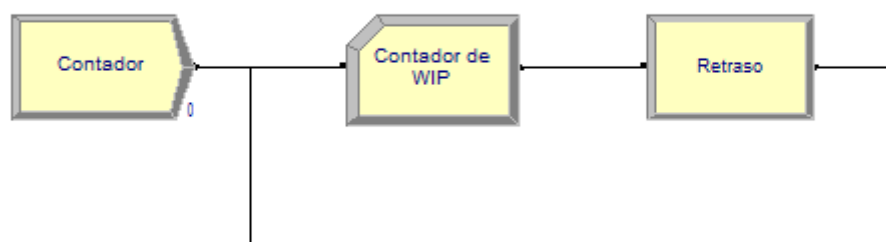


Figura 4.24 Demonio para el WIP promedio

La figura siguiente muestra la salida de las piezas del sistema.

Salida de la pieza y decremento del WIP

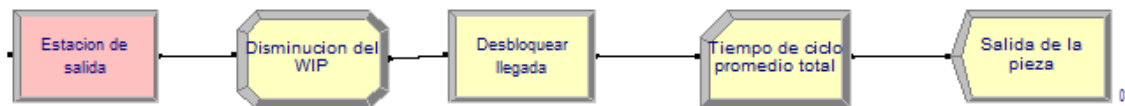


Figura 4. 25 Salida de las piezas del sistema

La salida cuenta con un módulo Station, llegan las piezas ahí y seguidamente disminuye el WIP. Después de este momento, ya existe hueco para que otra pieza pueda entrar al sistema, por lo tanto, el módulo Signal, manda una señal al Hold del principio para que este desbloquee y una pieza pueda entrar al sistema. El Record proporciona el tiempo de ciclo promedio y acaba el módulo con un Dispose de salida.

4.2.2 Fecha de entrega

El modelo para la simulación según la llegada de las piezas por fecha de entrega más próxima, es igual que el modelo anterior, pero se diferencia que en la llegada de piezas, va a haber un Assign en el que se detalla con atributos la fecha de entrega y los tiempos de procesos. A continuación, se muestra el modulo entero y después el Assign.

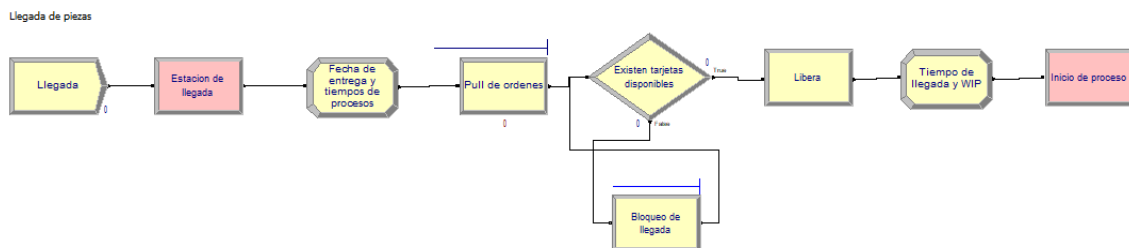


Figura 4.26 Llegada de piezas ordenadas por fecha de entrega

Assign

Name: Fecha de entrega y tiempos de procesos

Assignments:

- Attribute, tiempo_1, NORM(10,1)
- Attribute, tiempo_2, NORM(10,1)
- Attribute, tiempo_4, NORM(10,1)
- Attribute, tiempo_3, NORM(10,1)
- Attribute, FechaEntrega, UNIF(30,40)
- <End of list>

Buttons: Add..., Edit..., Delete, OK, Cancel, Help

Figura 4.27 Assign- Fecha de entrega y tiempos de procesos

Los tiempos de procesos al indicarse en este Assign, en el Process de las estaciones de trabajo el tiempo de proceso vendrá definido por una expresión y en su lugar pondremos el nombre del atributo de tiempo que le corresponde.

Figura 4.28 Módulo Process

Como se expresó anteriormente, todos los otros módulos son iguales al de FIFO.

4.2.3 Lead time

El modelo es igual, lo que difiere en este caso es la salida de las piezas. Se puede ver en la siguiente ilustración.

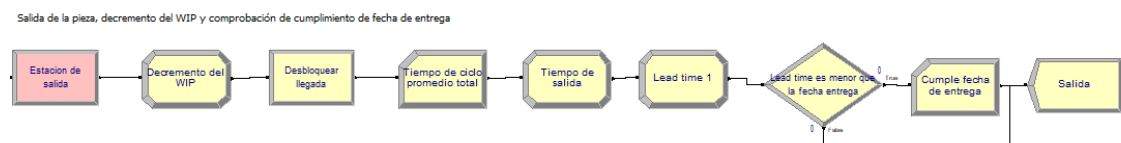


Figura 4.29 Llegada de piezas

En ella se observa el Station al que llegan las piezas que van a salir. La disminución del WIP, el consiguiente desbloqueo de la llegada con un Signal, para que el Hold del comienzo deje pasar una pieza. El Record para el tiempo de ciclo promedio. El Assign, es el que determina el tiempo de salida con un atributo con valor TNOW. El Lead time del siguiente Assign, se calcula como la diferencia entre el tiempo de salida y el tiempo de llegada de la pieza al sistema. El módulo Decide es el que verifica si el Lead time es menor que la fecha de entrega, y en caso positivo True =1, en caso negativo False y se conecta con el Dispose de salida.

Decide ? X

Name: Lead time es menor que la fecha entrega

Type: 2-way by Condition

If: Expression

Value: Lead time < FechaEntrega

OK Cancel Help

Figura 4.30 Módulo Decide

Si se cumple la condición de que Lead time es menor que Fecha de entrega, entonces, el Record es un contador de piezas que están a tiempo y aumenta su valor.

Record ? X

Name: Cumple fecha de entrega

Type: Count

Value: 1

☐ Record into Set

Counter Name: Cumple fecha de entrega

OK Cancel Help

Figura 4.31 Módulo Record

5 RESULTADOS

El estudio de los 3 escenarios posibles se llevó a cabo mediante unas condiciones iniciales de tiempos de procesos, fechas de entrega y tiempos de llegadas. Para ver el comportamiento de ambos sistemas de control de producción, a partir de la inicial, se llevaron a cabo variaciones en los tiempos de procesos, en las fechas y en los tiempos de llegadas. Para el estudio y su comparación, los indicadores que se tuvieron en cuenta fueron:

- WIP en proceso.
Se trata del número de piezas que están siendo procesadas en las estaciones de trabajo.
- Número de piezas terminadas.
- Tiempo de ciclo promedio.
Se trata del tiempo que hace falta para producir una pieza.
- Utilización.
El porcentaje de uso de la máquina.

La simulación del modelo original se llevó a cabo con los siguientes valores:

- Tiempos de procesos de las máquinas: Normal (10,1).
- Tiempo de llegada de las piezas: Exponencial (12).
- Fecha de entrega: Uniforme (30,40).

Todas estas variables están definidas en unidades de minutos. El tiempo de simulación es de 1 día con un total de 16h, dos turnos de 8h cada uno. Los resultados obtenidos fueron los que se pueden observar en la Tabla 1.

En ella se puede observar el comportamiento de los dos sistemas. En Kanban el WIP promedio es menor que en ConWIP. La utilización de las máquinas en ambos casos es similar, siendo en ConWIP ligeramente superior y el tiempo de ciclo es menor en Kanban.

Haciendo una comparación entre los 3 escenarios posibles; FIFO, fecha de entrega y Lead time, los que tienen mejor comportamiento son los dos últimos y según Kanban.

Las piezas que cumplen su fecha de entrega son solo 2, es decir únicamente un 3% de las piezas procesadas. A continuación, se va a proceder a variar los datos de partida para ver cómo se comportan y si estos mejoran.

Si se lleva a cabo la modificación de los tiempos de llegada, aumentando y disminuyendo éstos para ver el comportamiento, se obtienen los resultados de la Tabla 2.

KANBAN

- WIP: al aumentar la frecuencia en la llegada de piezas, el WIP disminuye y disminuir el tiempo de llegada a una Exponencial (9) minutos, el WIP promedio es mayor.
- Tiempo de ciclo: Disminuye al aumentar la llegada de piezas y viceversa al simularlo con una Exponencial (9).
- Utilización: La utilización aumenta notablemente, sobre todo en los modelos de fecha de entrega y Lead time, cuando se disminuye el tiempo de llegada. Esto no es aconsejable porque puede llegar a colapsar el sistema. Se considera que un sistema está colapsado cuando el porcentaje de utilización ronda el 95%. En este caso, se queda en un 92%.

TP: NORM (10,1) TLL: Expo (12) FE: UNIF (30,40)					
Sistemas de control de la producción	Indicadores		FIFO	Fecha de entrega	Lead Time
KANBAN	Número de piezas acabadas		75	63	63
	WIP promedio		3,4870	2,7875	2,7875
	Utilización	Máquina 1	0,822261	0,676820	0,676820
		Máquina 2	0,8166	0,6794	0,6794
		Máquina 3	0,8063	0,6411	0,6411
		Máquina 4	0,7899	0,6405	0,6405
	Tiempo de ciclo promedio		42,9880	41,7710	41,7710
	Piezas que cumplen la fecha de entrega		-	-	2
ConWIP	Número de piezas acabadas		75	63	63
	WIP promedio		4,4093	3,2331	3,2331
	Utilización	Máquina 1	0,82261	0,68691	0,68691
		Máquina 2	0,81656	0,66616	0,66616
		Máquina 3	0,80630	0,64109	0,64109
		Máquina 4	0,78992	0,67167	0,67167
	Tiempo de ciclo promedio		53,498	48,6980	517,1300
	Piezas que cumplen la fecha de entrega		-	-	2

Tabla 5.1. Resultados de la simulación inicial

Sistemas de control		TP: NORM (10,1) TLL:Expo(12) FE:UNIF (30,40)			TP: NORM (10,1) TLL: Expo(15) FE:UNIF (30,40)			TP: NORM (10,1) TLL: Expo (9) FE: UNIF (30,40)		
	Indicadores	A-FIFO	B-Fecha de entrega	C-Lead Time	D-FIFO	E-Fecha de entrega	F-Lead Time	G-FIFO	H-Fecha de entrega	I-Lead Time
KANBAN	Piezas acabadas	75	63	63	57	50	50	83	83	83
	WIP promedio	3,4870	2,7875	2,7875	2,5025	2,1450	2,1450	4,2331	4,2538	4,2538
	Utilización	Máquina 1	0,822261	0,676820	0,676820	0,60074	0,534790	0,534790	0,91236	0,922280
		Máquina 2	0,8166	0,6794	0,6794	0,60800	0,53461	0,53461	0,88859	0,92051
		Máquina 3	0,8063	0,6411	0,6411	0,6153	0,5066	0,5066	0,8872	0,8690
		Máquina 4	0,7899	0,6405	0,6405	0,6039	0,5092	0,5092	0,8743	0,8482
	TC	42,9880	41,7710	41,7710	41,4520	40,8930	40,8930	47,8240	47,2450	47,2450
	Cumple fecha	-	-	2	-	-	2	-	-	-
ConWIP	Piezas acabadas	75	63	63	57	50	50	83	84	84
	WIP promedio	4,4093	3,2331	3,2331	2,8186	2,3782	2,3782	6,2642	6,3626	6,3626
	Utilización	Máquina 1	0,82261	0,68691	0,68691	0,60074	0,54184	0,54184	0,91236	0,93226
		Máquina 2	0,81656	0,66616	0,66616	0,60800	0,52554	0,52554	0,88859	0,91050
		Máquina 3	0,80630	0,64109	0,64109	0,61529	0,50655	0,50655	0,88717	0,87374
		Máquina 4	0,78992	0,67167	0,67167	0,60389	0,53461	0,53461	0,87432	0,89202

	TC	53,498	48,6980	517,1300	46,919	45,406	512,710	69,273	66,584	526,550
	Cumple fecha	-	-	2	-	-	2	-	-	-

Tabla 5.2. Resultados con variación del tiempo de llegada

ConWIP

- WIP: Aumenta el WIP en proceso con la disminución de tiempo de llegada. Ocurre lo contrario en el caso de aumento entre llegadas.
- Tiempo de ciclo: Al igual que con el WIP, aumenta con la disminución del tiempo entre llegadas y viceversa.
- Utilización: Se produce lo mismo que con el WIP y el tiempo de ciclo.

Después de analizar los dos por separado, se procede a analizar los dos sistemas para ver cuál de ellos se comporta mejor. Como se puede observar en la Tabla 2, los que tienen mejor comportamiento son el D, E y F, pertenecientes a la simulación en la que se aumentó el tiempo de llegadas, pero dentro de este, Kanban se comporta mejor que ConWIP, aunque tienen valores cercanos, en Kanban son menores.

En el caso de que se varíen los tiempos de procesos de las máquinas, en situación de equilibrio, se obtienen los siguientes resultados reflejados en la Tabla 3.

KANBAN

- WIP: Aumenta el WIP con el aumento del tiempo de proceso y disminuye cuando se disminuye el tiempo de procesos a una NORM (8,0.5) manteniendo constante el tiempo entre llegadas de la simulación inicial a Exponencial (12) minutos y una fecha de entrega determinada por una distribución UNIF (30,40).
- Tiempo de ciclo: Aumenta más del 50% en el caso de pasar el tiempo de una NORM (10,1) a una NORM (20,2). En el caso de disminuir, disminuye también el tiempo de ciclo.
- Utilización: Se acrecenta con el aumento del tiempo de proceso, hasta tal punto que casiona colapso en el sistema. La utilización sobrepasa el 95%. En el otro caso, disminuye.

ConWIP

- WIP: Aumenta más de un 50% el WIP en proceso al aumentar el tiempo de proceso. En el caso contrario disminuye.
- Tiempo de ciclo: Se dispara el tiempo de ciclo 3 veces el inicial al aumentar el tiempo de procesos, en caso contrario el tiempo de ciclo es menor.
- Utilización: Se produce colapso en el sistema como en Kanban cuando se aumenta.

El comportamiento que tiene el modelo Kanban frente a ConWIP es claramente mejor en todos los escenarios propuestos. Al elegir uno, habría que quedarse con el de tiempo de proceso menor, ya que el WIP promedio y la utilización de las máquinas es mejor. En este apartado, el número de piezas que cumple con la fecha de entrega con respecto a todas las que salen es de un 84%.

En este último caso, se modifica la fecha de entrega. En este caso, no tiene sentido el estudio del modelo según FIFO ya que no repercute en esta simulación.

En este caso Kanban, al igual que en las otras dos versiones, se comporta mejor que ConWIP al tener un WIP más reducido. La utilización en ambos sistemas es casi la misma, siendo ligeramente mayor en ConWIP. En el caso de aumento del tiempo de entrega, es lógico que nos encontremos en el caso que el 100% de piezas procesadas llega a su fecha de entrega.

Sistemas de control		TP: NORM (10,1) TLL: Expo(12) FE: UNIF (30,40)			TP: NORM (20,2) TLL: Expo(12) FE: UNIF (30,40)			TP: NORM (8, 0,5) TLL: Expo(12) FE: UNIF (30,40)		
Indicadores		A-FIFO	B-Fecha de entrega	C-Lead Time	D-FIFO	E-Fecha de entrega	F-Lead Time	G-FIFO	H-Fecha de entrega	I-Lead Time
KANBAN	Número de piezas acabadas	75	63	63	43	43	43	69	63	63
	WIP promedio	3,4870	2,7875	2,7875	5,0310	4,6062	4,6062	2,4093	2,1502	2,1502
	Utilización	Máquina 1	0,822261	0,676820	0,676820	1,0000	0,9842	0,9842	0,59704	0,544370
		Máquina 2	0,8166	0,6794	0,6794	0,96748	0,95880	0,95880	0,59614	0,54253
		Máquina 3	0,8063	0,6411	0,6411	0,9327	0,8877	0,8877	0,5856	0,5180
		Máquina 4	0,7899	0,6405	0,6405	0,9272	0,8731	0,8731	0,5822	0,5171
	TC promedio	42,9880	41,7710	41,7710	105,0200	98,9960	98,9660	32,6850	32,4080	32,4080
	Cumple fecha	-	-	2	-	-	-	-	-	53
ConWIP	Número de piezas acabadas	75	63	63	43	42	42	69	63	63
	WIP promedio	4,4093	3,2331	3,2331	10,4920	9,8238	9,8238	2,7046	2,3834	2,3834
	Utilización	Máquina 1	0,82261	0,68691	0,68691	1,00000	0,98068	0,98068	0,59704	0,54942
		Máquina 2	0,81656	0,66616	0,66616	0,96748	0,93139	0,93139	0,59614	0,53570
		Máquina 3	0,80630	0,64109	0,64109	0,93266	0,88569	0,88569	0,58563	0,51878
		Máquina 4	0,78992	0,67167	0,67167	0,92724	0,90734	0,90734	0,58222	0,53271

	Tiempo de ciclo promedio	53,498	48,6980	517,1300	204,290	189,890	528,070	36,333	35,705	504,140
	Cumple fecha	-	-	2	-	-	-	-	-	31

Tabla 5.3. Resultados con variación del tiempo de procesos

Sistemas de control		TP: NORM (10,1) TLL: Expo (12) FE: UNIF (30,40)			TP: NORM (10,1) TLL: Expo (15) FE: UNIF (50,60)			TP: NORM (10,1) TLL: Expo (15) FE: UNIF (20,30)		
Indicadores		A-FIFO	B-Fecha de entrega	C-Lead Time	D-FIFO	E-Fecha de entrega	F-Lead Time	G-FIFO	H-Fecha de entrega	I-Lead Time
KANBAN	Piezas acabadas	75	63	63	-	63	63	-	63	63
	WIP promedio	3,4870	2,7875	2,7875	-	2,7875	2,7875	-	2,7875	2,7875
	Utilización	Máquina 1	0,822261	0,676820	0,676820	-	0,67682	0,67682	-	0,67682
		Máquina 2	0,8166	0,6794	0,6794	-	0,67938	0,67938	-	0,67938
		Máquina 3	0,8063	0,6411	0,6411	-	0,64109	0,64109	-	0,64109
		Máquina 4	0,7899	0,6405	0,6405	-	0,64049	0,64049	-	0,64049
	TC promedio	42,9880	41,7710	41,7710	-	41,7710	41,7710	-	41,7710	41,7710
	Cumple fecha	-	-	2	-	-	63	-	-	-
ConWIP	Piezas acabadas	75	63	63	-	63	63	-	63	63
	WIP promedio	4,4093	3,2331	3,2331	-	3,2331	3,2331	-	3,2331	3,2331
	Utilización	Máquina 1	0,82261	0,68691	0,68691	-	0,68691	0,68691	-	0,68691
		Máquina 2	0,81656	0,66616	0,66616	-	0,66616	0,66616	-	0,66616
		Máquina 3	0,80630	0,64109	0,64109	-	0,64109	0,64109	-	0,64109
		Máquina 4	0,78992	0,67167	0,67167	-	0,67167	0,67167	-	0,67167
	TC promedio	53,498	48,6980	517,1300	-	48,698	517,130	-	48,698	517,130
	Cumple fecha	-	-	2	-	-	45	-	-	-

Tabla 5.4. Resultados con variación de la fecha de entrega

6 CONCLUSIONES

A pesar de como se puede ver a lo largo del proyecto, de cómo se pone en práctica cada modelo de producción, tanto Kanban como ConWIP y ver el resultado de que la implementación en un taller de ConWIP es más sencilla, nos encontramos con el resultado de que, con respecto al sistema de simulación propuesto, con 4 estaciones de trabajo en serie, se puede concluir que, para todos los escenarios propuestos, el sistema de control de la producción por tarjetas Kanban, se comporta mejor que ConWIP.

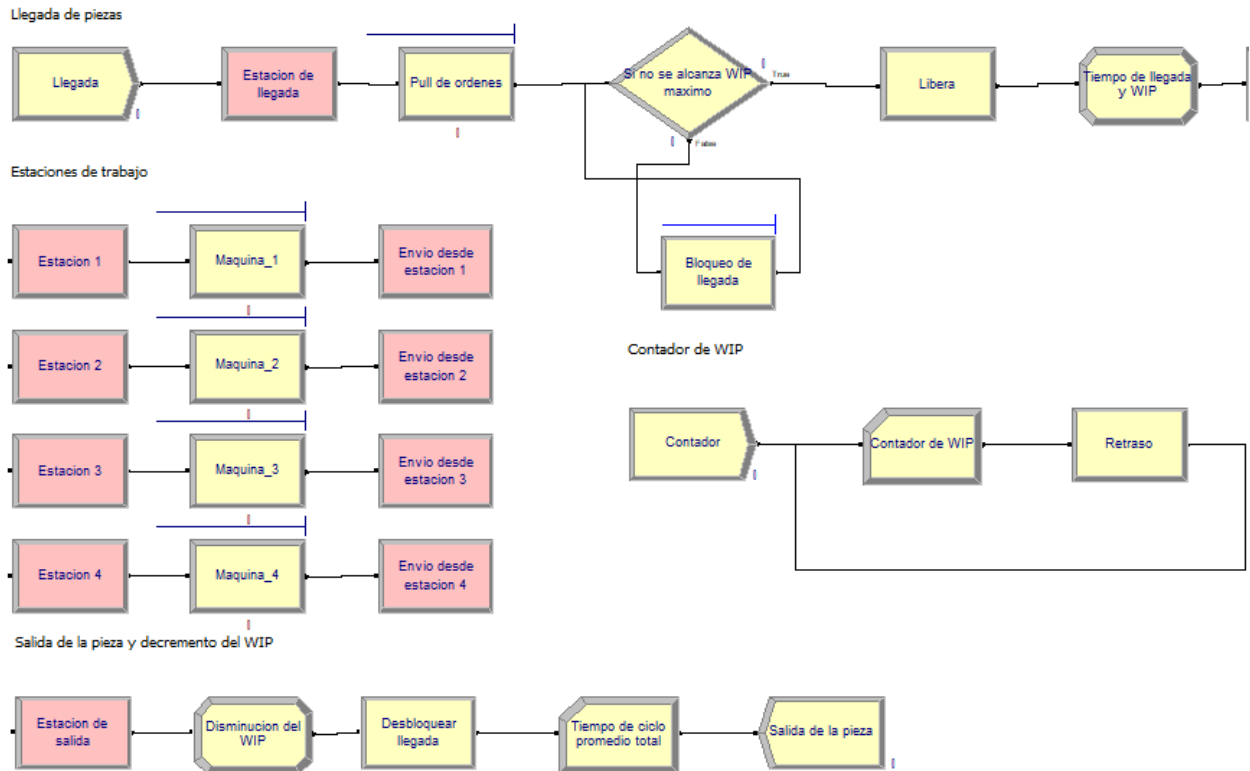
Líneas posibles futuras.

1. Realizar un entorno de simulación con secuencias.
2. Realizar una simulación en entornos que no se encuentren en equilibrio.

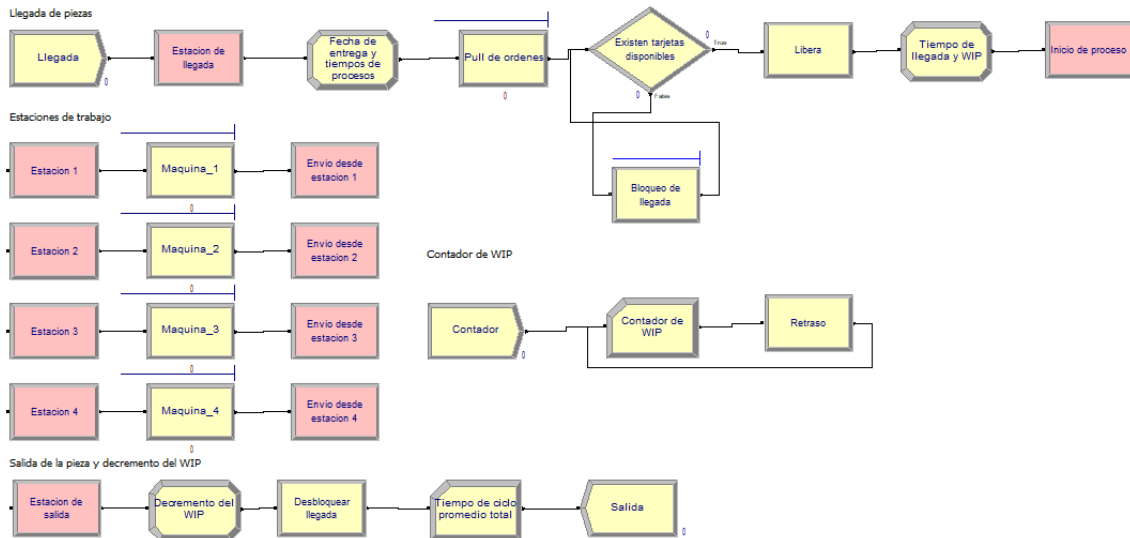
BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Sendil Kumar. R. Panneerselvam, Literature review of JIT-KANBAN system, 22 March 2006.
- [2] Pedro L. González-R · José M. Framinan, Token-based pull production control systems: an introductory overview, 21 April 2011.
- [3] Matthias Thürera, Mark Stevensonb and Charles W. Protzman, Card-based production control: a review of the control mechanisms underpinning *Kanban*, ConWIP, POLCA and COBACABANA systems, Vol. 27, No. 14, 1143–1157, 2016.
- [4] Arena user's guide.
- [5] Heizer, J., Render, B. (2008). Dirección de la producción y operaciones: decisiones tácticas. Pearson Prentice Hall, 8ª Edición.
- [6] Hopp, W.J., Spearman M.L. (2004). “To Pull or Not to Pull: What Is the Question?”. *Manufacturing & Service Operations Management*, 6(2):133-148.
- [7] Velasco, J., Campins, J.A. (2013). Gestión de la producción en la empresa: planificación, programación y control. Ediciones Pirámide.
- [8] Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*. 1st ed. Cambridge,MA: Productivity Press.

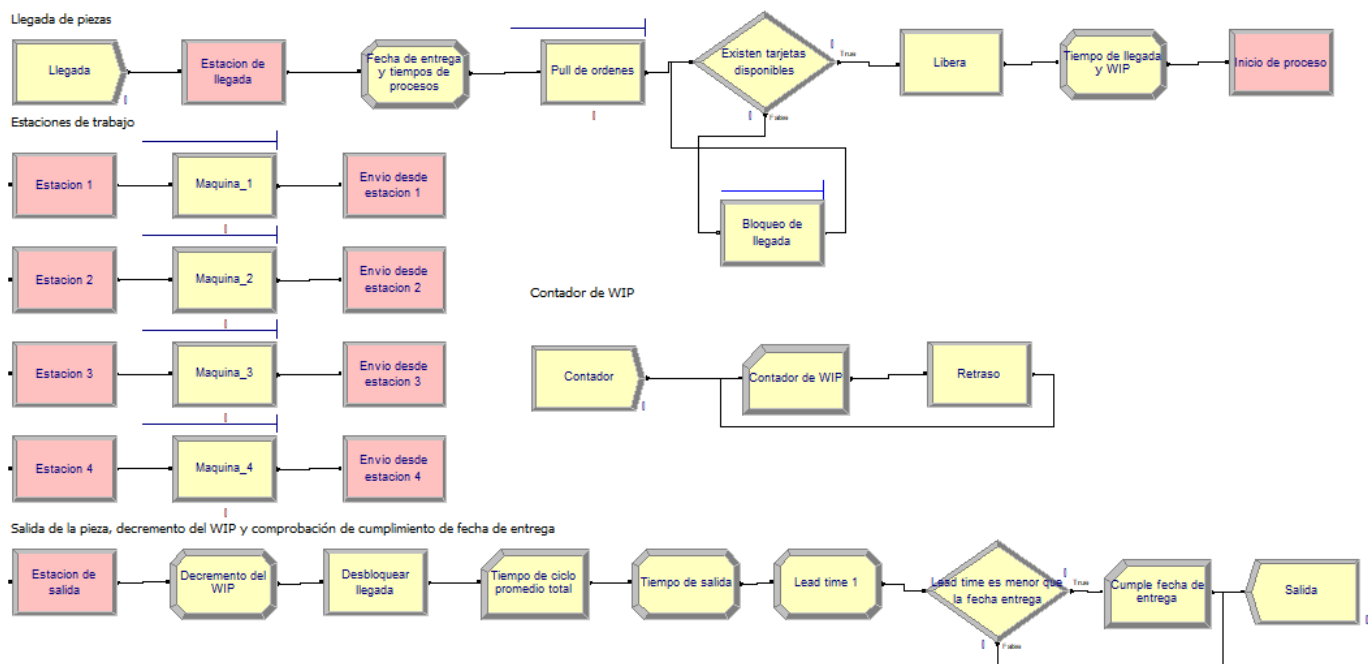
ANEXOS



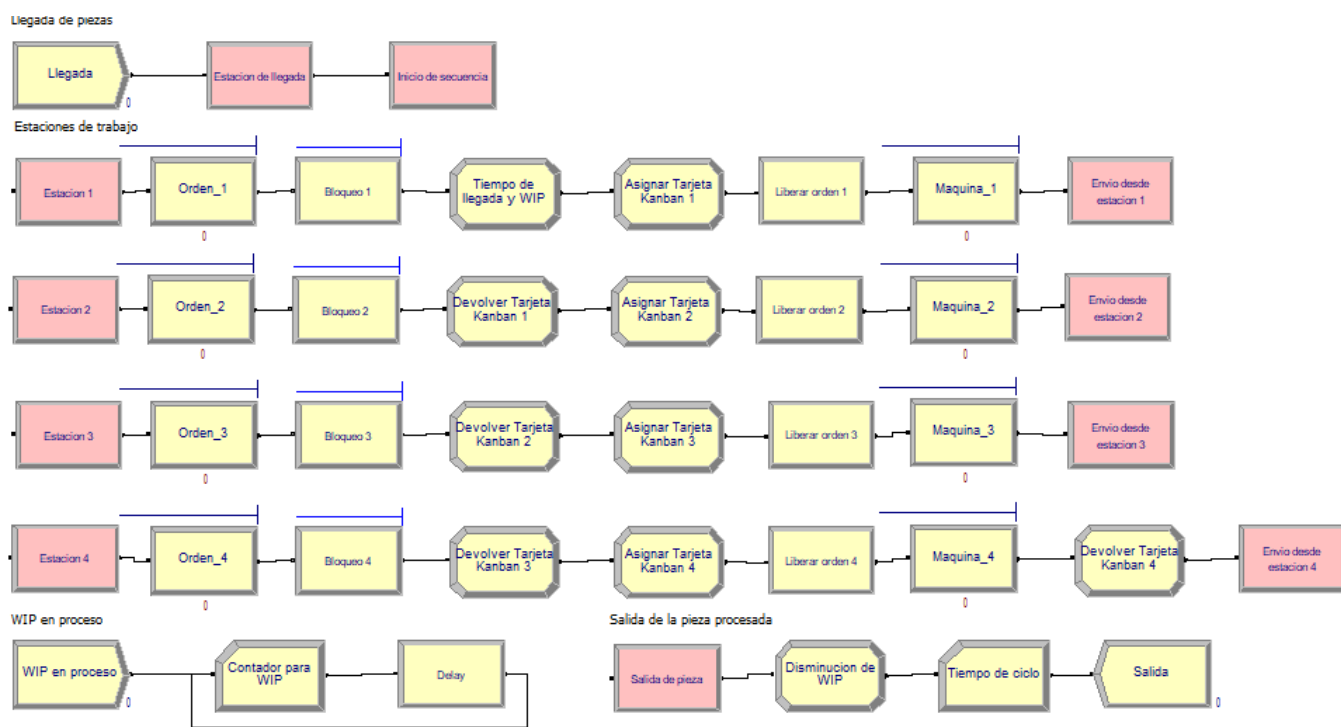
ConWIP- Modelo FIFO



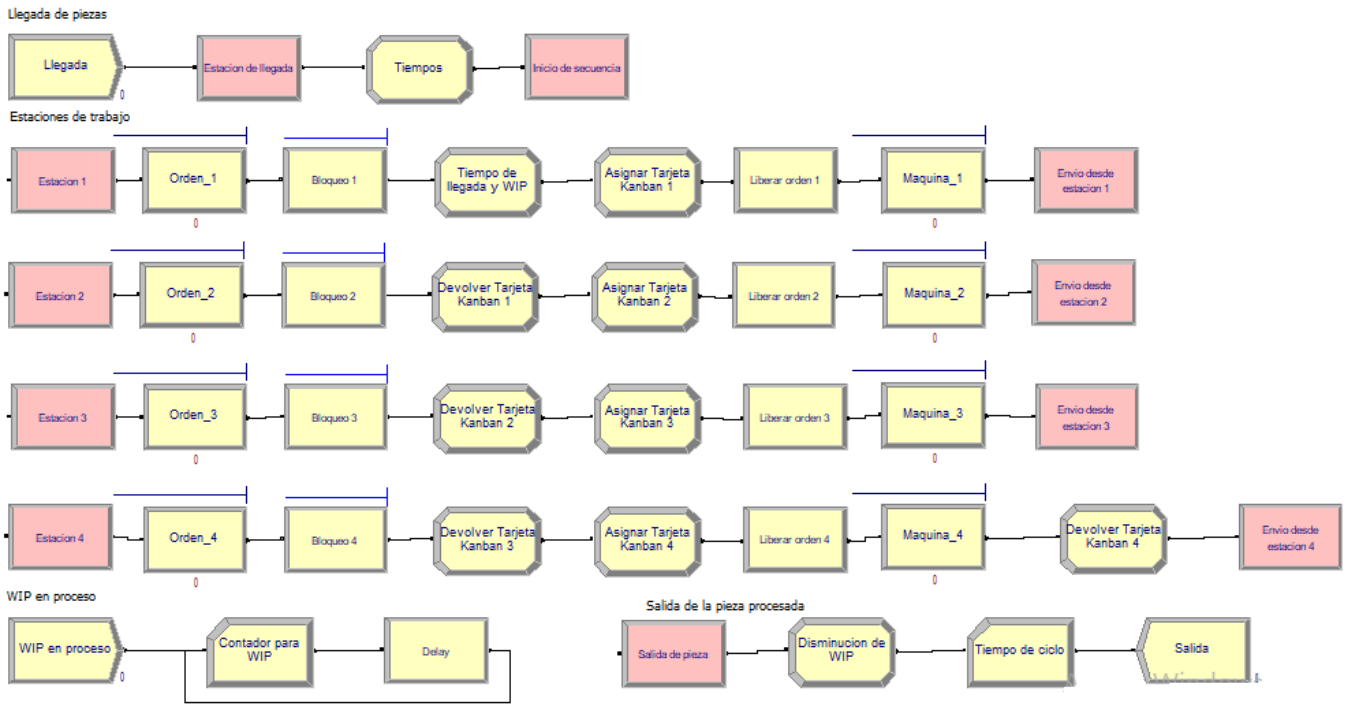
ConWIP – Modelo ordenado según fecha de entrega



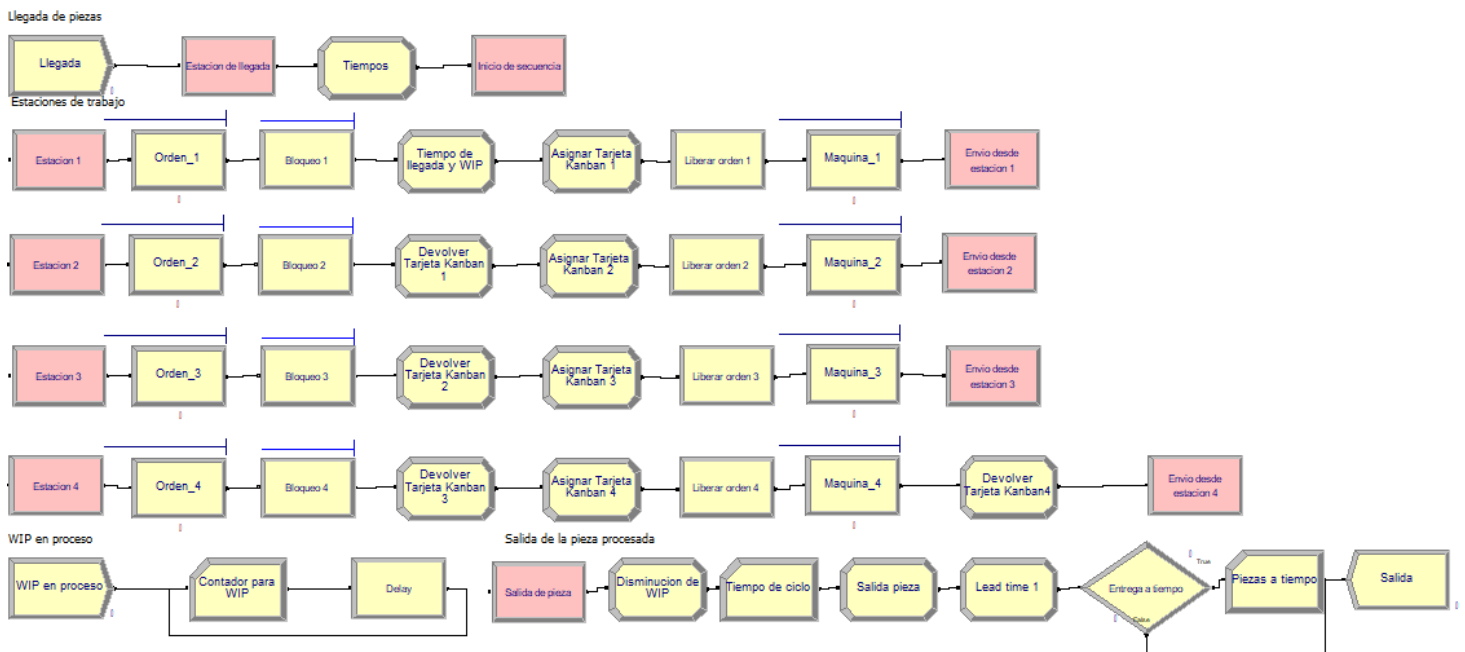
ConWIP- Cumplimiento de Lead time



Kanban- Modelo FIFO



Kanban- Modelo ordenado según fecha de entrega



Kanban – Cumplimiento del Lead time

